

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA

MARCOS BLANCO CANGIANI
ENGENHEIRO MECÂNICO

**INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DA JUNÇÃO
SOLDADA NA RESISTÊNCIA À FADIGA DE LIGAS
DO SISTEMA COBALTO – CROMO**

Dissertação apresentada à Faculdade
de Odontologia de Piracicaba da
Universidade Estadual de Campinas,
para obtenção do título de Mestre em
Ciências – Área Materiais Dentários.

PIRACICABA – SP
1998

C163i

34262/BC

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

*Este trabalho foi
documentado corrigido conforme
Hologramas CC PG 036/83.
30/4/98.
[Assinatura]*

0813546

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA

MARCOS BLANCO CANGIANI
ENGENHEIRO MECÂNICO

**INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DA JUNÇÃO
SOLDADA NA RESISTÊNCIA À FADIGA DE LIGAS
DO SISTEMA COBALTO – CROMO**

ORIENTADOR: Prof. Dr. LOURENÇO CORRER SOBRINHO – FOP/UNICAMP

Dissertação apresentada à Faculdade
de Odontologia de Piracicaba da
Universidade Estadual de Campinas,
para obtenção do título de Mestre em
Ciências – Área Materiais Dentários.

PIRACICABA – SP
1998

Ficha Catalográfica Elaborada pela Biblioteca da FOP/UNICAMP

C354a

Cangiani, Marcos Blanco.

Influência da geometria da junção soldada na resistência à fadiga de ligas do sistema cobalto - cromo / Marcos Blanco Cangiani. -- Piracicaba, SP : [s.n.], 1998.
96 f. : il.

Orientador : Lourenço Correr Sobrinho.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Odontologia de Piracicaba.

1. Ligas de metais. 2. Solda e soldagem. 3. Metais - Fadiga. 4. Prótese dentária parcial removível. I. Correr Sobrinho, Lourenço. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Odontologia de Piracicaba. III. Título.

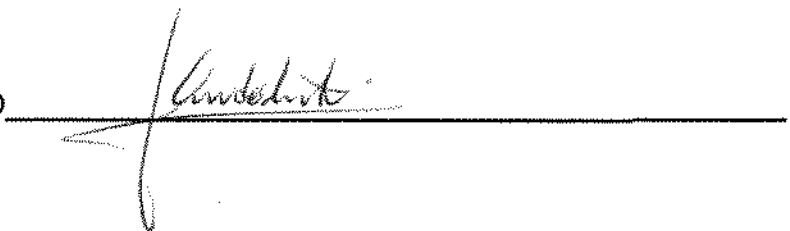
Índices para o Catálogo Sistemático

1. Ligas de metais.
2. Solda e soldagem.
3. Metais - Fadiga.
4. Prótese dentária parcial removível.



A Comissão Julgadora dos trabalhos de Defesa de Tese de **Mestrado**, em sessão pública realizada em 23/04/98, considerou o candidato aprovado.

1. Lourenço Correr Sobrinho



2. Simonides Consani



3. Maximiliano Piero Neisser



Dedico este trabalho

À Deus, Criador e Senhor de toda a sabedoria

Aos meus pais, ADÁRIO e INÊS,
pelo incentivo, carinho e
compreensão durante toda minha
vida.

À MÁRCIA, pelo amor, carinho,
companheirismo e apoio.

À minha irmã, RENATA, pelo
apoio e incentivo.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Ao **Prof. Dr. LOURENÇO CORRER SOBRINHO**, Doutor da Área Materiais Dentários, da Faculdade de Odontologia de Piracicaba, da Universidade Estadual de Campinas, cuja competência científica proporcionou segura orientação na minha formação científica e no transcorrer deste trabalho.

Ao **Prof. Dr. SIMONIDES CONSANI**, Titular da Área Materiais Dentários, da Universidade Estadual de Campinas, pela amizade, estímulo, apoio, sugestões na elaboração deste trabalho, e por sua valiosa colaboração na minha formação científica.

Ao **Prof. Dr. MARIO FERNANDO DE GOES**, Livre docente da Área Materiais Dentários, da Faculdade de Odontologia de Piracicaba – UNICAMP, pela amizade, apoio, incentivo e formação científica.

Ao **Prof. Dr. MÁRIO ALEXANDRE COELHO SINHORETI**, Doutor da Área Materiais Dentários da Faculdade de Odontologia de Piracicaba – UNICAMP, por toda a amizade, incentivo e elaboração da análise estatística deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

À Direção da Faculdade de Odontologia de Piracicaba, da Universidade Estadual de Campinas, na pessoa do seu Diretor Prof. Dr. JOSÉ RANALI e do Diretor Associado Prof. Dr. OSLEI PAES DE ALMEIDA.

Ao Prof. Doutor JOÃO MANUEL DOMINGOS DE ALMEIDA ROLLO, Livre Docente do Departamento de Engenharia de Materiais da Escola de Engenharia de São Carlos – USP, pelo empréstimo da máquina de ensaios.

Ao Prof. Dr. ELIOT KITAJIMA, Coordenador do Núcleo de Apoio à Pesquisa da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – USP, pelo auxílio na obtenção das fotomicrografias, que possibilitaram o enriquecimento científico deste trabalho.

Aos docentes aposentados da Área de Materiais Dentários da Faculdade de Odontologia de Piracicaba – UNICAMP, DR. LUIZ ANTONIO RUHNKE e Dr. WOLNEY LUIZ STOLF, pela amizade.

À LABOR DENTAL Ltda., pelo fornecimento gratuito da liga e da solda Dentorium.

À Bibliotecária SUELI DUARTE DE OLIVEIRA SOLIANE, da Faculdade de Odontologia de Piracicaba – UNICAMP, pela orientação nas referências bibliográficas.

À Sra. SELMA APARECIDA BARBOSA SEGALLA, técnica da Área de Materiais Dentários da Faculdade de Odontologia de Piracicaba – UNICAMP, pela amizade e atenção.

Aos colegas do Curso de Pós-Graduação, pela amizade durante o curso e a todos que direta ou indiretamente auxiliaram na elaboração deste trabalho.

MEUS SINCEROS AGRADECIMENTOS.

SUMÁRIO

1 – LISTA	01
2 – RESUMO	06
3 – INTRODUÇÃO	08
4 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
5 – PROPOSIÇÃO	54
6 – MATERIAIS E MÉTODO	56
6.1 – Materiais	57
6.2 – Método	57
6.2.1 – Confecção dos padrões e inclusão em revestimento	57
6.2.2 – Fundição e desinclusão dos corpos-de-prova	59
6.2.3 – Usinagem e polimento dos corpos-de-prova	60
6.2.4 – Seccionamento e usinagem das extremidades dos corpos-de-prova	61
6.2.5 – Relacionamento dos corpos-de-prova e inclusão	62
6.2.6 – Procedimento de soldagem e usinagem	64
6.2.7 – Ensaio de resistência à fadiga	66
6.2.8 – Análise da superfície fraturada em microscopia eletrônica de varredura	67
7 – RESULTADOS	68
8 – DISCUSSÃO	76
9 – CONCLUSÃO	82
10 – SUMMARY	84
11 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
12 – APÊNDICE	92

1 – LISTA

1 - LISTA

I – LISTA DE TABELAS

	FOLHA
1 – Descrição dos materiais que foram utilizados no estudo -----	57
2 –Valores médios da resistência à fadiga para os três diferentes tipos de preparos para soldagem e controle (sem solda) das ligas metálicas Dentorium e Degussa, em números de ciclos -----	70
3 – Valores médios da resistência à fadiga das ligas metálicas Degussa e Dentorium, submetidas ou não ao procedimento de soldagem em números de ciclos. -----	71
4 – Valores médios originais de resistência à fadiga para os três diferentes tipos de preparo para soldagem e controle (sem solda) das ligas metálicas Dentorium e Degussa em números de ciclos. -----	93
5 – Análise de variância -----	94
6 – Teste de Tukey para médias de liga -----	94
7 – Teste de Tukey para médias de liga dentro de controle do fator junção. -----	94
8 – Teste de Tukey para médias de liga dentro de topo do fator junção -----	95
9 – Teste de Tukey para médias de liga dentro de lápis do fator junção. -----	95
10 – Teste de Tukey para médias de liga dentro de ângulo do fator junção. -----	95
11 – Teste de Tukey para médias de junção -----	95

12 – Teste de Tukey para médias de junção de Dentorium do fator liga.	96
13– Teste de Tukey para médias de junção dentro de Degussa do fator liga.	96

II – LISTA DE FIGURAS

	FOLHA
1 – Anel para inclusão e bloco com hastes	58
2 – Tipos de preparo das extremidades dos corpos-de-prova para soldagem e controle.	62
3 – Dispositivo acrílico relacionador para soldagem	63
4 – Bloco de revestimento para soldagem e corpo-de-prova	65
5 – Máquina de ensaios cíclicos: A – corpo-de-prova; B – mordente fixo superior; e, C – mordente oscilatório inferior.	67
6 – Ilustração gráfica dos valores médios de resistência à fadiga para os três diferentes tipos de preparos para soldagem e controle (sem solda) das ligas metálicas Dentorium e Degussa, em números de ciclos.	70
7 – Ilustração gráfica dos valores médios de resistência à fadiga das ligas metálicas Degussa e Dentorium, submetidas ou não ao procedimento de soldagem em números de ciclos.	71
8 – Imagem (M.E.V.) da superfície da liga Dentorium controle (sem solda) após o teste de fadiga, com aumento de 100 X. Fratura aos 6.000 ciclos.	72

9 – Imagem (M.E.V.) da superfície da liga Dentorium, com solda em chanfro 30° após o teste de fadiga, com aumento de 64 X. Fratura aos 7.185 ciclos.	72
10 – Imagem (M.E.V.) da superfície da liga Dentorium com solda ponta de lápis, após o teste de fadiga, com aumento de 500 X. Fratura aos 5.250 ciclos.	73
11 – Imagem (M.E.V.) da superfície da liga Dentorium, com solda topo a topo, após o teste de fadiga, com aumento de 50 X. Fratura aos 4.414 ciclos.	73
12 – Imagem (M.E.V.) da superfície da liga Degussa, controle (sem solda), após o teste de fadiga, com aumento de 100 X. Fratura aos 2.463 ciclos.	74
13 – Imagem (M.E.V.) da superfície da liga Degussa com solda em chanfro de 30° após o teste de fadiga, com aumento de 100 X. Fratura aos 7.500 ciclos.	74
14 – Imagem (M.E.V.) da superfície da liga Degussa, com solda ponta de lápis, após o teste de fadiga, com aumento de 100 X. Fratura aos 5.040 ciclos.	75
15 – Imagem (M.E.V.) da superfície da liga Degussa, com solda topo a topo, após o teste de fadiga, com aumento de 50 X. Fratura aos 4.472 ciclos.	75

III – LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABREVIATURAS E SIGLAS	SIGNIFICADO
%	Por cento;
±	Mais ou menos;
µm	Micrometro;
Be	Berílio;
C	Carbono;
cm	Centímetro;
cm/minuto	Centímetro por minuto;
Co	Cobalto;
Co.	Companhia;
Co-Cr	Cobalto-cromo;
Com.	Comércio;
Cr	Cromo;
D.M.S	Diferença mínima significativa;
D.P.	Desvio padrão
et al.	Abreviatura de et alli;
G.L.P.	Gás liquefeito de petróleo;
Ind.	Indústria;
kg	Quilograma;
kgf	Quilograma força
kgf/cm ²	Quilograma força por centímetro quadrado;
Ltda.	Limitada;
M.E.V	Microscopia eletrônica de varredura;
m ³ /h	Metro cúbico por hora;
mm	Milímetro;
Mo	Molibdênio;
N/mm ²	Newton por milímetro quadrado;
NBR	Norma Brasileira;
Ni	Níquel;
Nm	Nanometro;
°	Grau;
°C	Grau Celsius;
P.V.C.	Poli-vinil cloreto rígido;
p<0,05	Probabilidade menor que 5 por %;
Pb	Chumbo;
r.p.m	Rotação por minuto;
Sn	Estanho;
U.S.A.	Estados Unidos da América;

2 – RESUMO

2 - RESUMO

O propósito deste estudo foi investigar a resistência à fadiga das ligas do sistema Co-Cr (Dentorium e Degussa), submetidas ou não ao procedimento de soldagem convencional.

Oitenta corpos-de-prova cilíndricos com 1,7 mm de diâmetro foram obtidos por fundição odontológica, utilizando maçarico à oxigênio e acetileno para cada tipo de liga. O procedimento de soldagem foi realizado em sessenta corpos-de-prova de cada uma das ligas, sendo que vinte serviram de controle. A soldagem foi efetuada com uma liga à base de Co-Cr utilizando um maçarico à oxigênio e gás (G.L.P.). Uma distância de 0,3 mm foi padronizada entre as extremidades dos três tipos de preparo (topo a topo, chanfro de 30° e ponta de lápis) a serem soldadas. O ensaio de resistência à fadiga foi realizado numa máquina de cargas cíclicas AMSLER (Alfred J. Amsler & Co.), calibrada com carga constante de tração de 1 kgf, com os corpos-de-prova solicitados à flexão por ciclo oscilatório de 2° para cada lado. Após a fratura, o número de ciclos foi registrado e a superfície de fratura analisada sob M.E.V..

Os resultados foram estatisticamente analisados usando a análise de variância e o teste de Tukey, nos quais verificamos que: 1 – Para a liga Dentorium, os três tipos de preparo (com solda) apresentaram valores de resistência estatisticamente semelhante entre si, porém, foram estatisticamente inferiores ao controle (sem solda); 2 – Para a liga Degussa, os preparos tipo ponta de lápis e topo a topo (com solda) mostraram valores de resistência à fadiga estatisticamente semelhantes entre si, porém, estatisticamente inferiores ao controle (sem solda) e preparo em chanfro de 30°. Nenhuma diferença estatística foi encontrada entre o controle e o preparo em chanfro de 30°; 3 – a liga Dentorium apresentou valores de resistência à fadiga estatisticamente superior à liga Degussa, quando a solda foi efetuada no preparo tipo ponta de lápis. Nenhuma diferença estatística foi observada para o controle e os tipos de preparos em chanfro de 30° e topo a topo.

Palavra Chave - 1 – Ligas de metais; 2 – Solda e soldagem; 3 – Metais - Fadiga; 4 – Prótese dentária parcial removível.

3 – INTRODUÇÃO

3 – INTRODUÇÃO

A restauração dental faz-se necessária quando os processos destrutivos causam danos e impõem a inevitável substituição dos tecidos dentais destruídos.

Uma das maneiras de substituir os elementos dentais destruídos é através da prótese parcial removível. A prótese parcial removível tem sido utilizada para reabilitação de áreas parcialmente desdentadas. Esta prótese é composta de uma infra-estrutura metálica e de uma supra-estrutura em resina acrílica. Durante anos, as ligas de ouro foram utilizados como material para a confecção da infra-estrutura metálica. Porém, devido a fatores econômicos, tem-se procurado desenvolver ligas de metais básicos para a construção de aparelhos dentários protéticos, com características físico-químicas próximas às ligas de ouro.

Assim, em 1929, PRANGE & ERDLE⁴⁰ desenvolveram materiais e técnicas de fundições odontológicas para uma liga à base de Co-Cr (Vitallium), enquanto PAFFENBARGER et al.³⁹, em 1943, observaram que as ligas de Co-Cr apresentavam propriedades mecânicas inferiores, iguais ou mesmo superiores às ligas de ouro.

Portanto, desde a sua introdução, as ligas à base de Co-Cr (Vitallium) têm sido constantemente indicadas como substitutas das ligas de ouro na confecção de próteses parciais removíveis, pelas constantes modificações técnicas. SMITH⁴², em 1948, sugeriu o uso de oxigênio/acetileno como fonte de calor e do revestimento aglutinado por silicato de etila, para compensar a contração de fundição, que segundo EARNSHAW¹⁹ é uma característica inerente dessas ligas. Em 1949, LANE³² estimou que as fundições com ligas de Co-Cr eram cinco vezes maiores do que as produzidas com as ligas de ouro, provavelmente, devido à algumas vantagens, como: melhor tolerância aos tecidos orais, baixo custo, menor peso específico, manutenção do brilho, elevada dureza e rigidez.

Entretanto, apesar das ligas usadas na confecção de próteses parciais removíveis apresentarem propriedades físicas adequadas, falhas podem ocorrer

devido à fraturas. Segundo alguns pesquisadores^{10,26,34,38}, as fraturas podem ocorrer devido à fatores diversos, como: descuido na remoção e colocação do aparelho, bem como durante o trabalho mastigatório; mau planejamento da estrutura metálica; ajustes mecânicos inadequados a frio; e, porosidade provocada pela técnica de fundição ou por gases da fonte de calor. Entretanto, para EARNSHAW²⁰, muitas fraturas provocadas nas estruturas metálicas ocorrem devido ao processo de fadiga, enquanto para BATES⁷, a presença de poros e inclusões de gases na estrutura de Co-Cr podem reduzir consideravelmente a resistência à fadiga dessas estruturas.

Como consequência, em casos onde ocorrem fraturas ou onde conectores semi-rígidos de precisão devem ser instalados, surge a necessidade da utilização dos procedimentos de soldagem. Segundo MUENCH³⁷, a soldagem de estruturas de ouro proporciona resistência à tração adequada. Entretanto, as soldagens das ligas alternativas causam algumas controvérsias no meio científico. Assim, segundo TOWNSEND et al.⁴⁸ 1983, um terço das amostras em Co-Cr fraturam após terem sido soldadas. Por outro lado, GUSTAVSEN et al.²⁴, em 1989, relataram que não há diferença em resistência à fratura entre estruturas à base de Co-Cr submetidos ou não à soldagem. Segundo ANGELINI et al.³, em 1989, o excesso de fundente é a responsável pelo considerável aumento de defeitos na união soldada, proporcionando diminuição na resistência mecânica. Para HAWBOLT & MacENTEE²⁹, em 1983, as falhas das uniões soldadas mostram uma alta significância quando submetidos à esforços cíclicos em relação às cargas estáticas e, RASMUSSEN et al.⁴¹, em 1979, relataram que a geometria da porção soldada influenciava a resistência da estrutura.

A revisão da literatura mostra poucas informações com relação ao aspecto da geometria da junção soldada. Em função disso, o propósito deste estudo foi avaliar a resistência à fadiga de ligas à base de Co-Cr, submetidas ou não ao procedimento de soldagem, segundo a geometria da junção.

4 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Da bibliografia colocada ao nosso alcance, fazemos as citações que nos pareceram de maior relevância para a colocação do assunto.

PRANGE & ERDLE⁴⁰, em 1929, desenvolveram técnicas de fundição odontológicas para uma liga à base de Co-Cr, da classe das estelitas, possuindo em sua composição tungstênio e molibdênio, utilizada na indústria automobilística, denominada Vitallium. Essa liga apresenta uma combinação de dureza e resistência, permanência do brilho, acabamento e resistência à abrasão e corrosão, provavelmente não encontrada em nenhuma outra classe de ligas afins. Após estas considerações concluíram que as ligas à base de Co-Cr possuíam uma dureza e resistência à deformação maior que as de ouro, porém dentre as ligas pesquisadas, as nobres apresentavam grande resistência à tração, o que permitia maior alongamento. Além disso, são as únicas que permitiam tratamento térmico amaciador para ajuste e posterior reendurecimento.

Em 1943, **PAFFENBARGER et al.**³⁹ desenvolveram um estudo onde descreveram sobre algumas ligas utilizadas para restaurações odontológicas. Com relação às ligas de Co-Cr, concluíram que a proporção ideal para obtenção de valores satisfatórios de resistência a tração, dureza, resistência à abrasão e perda de brilho era de 70 % de cobalto e 30 % de cromo, sendo que o aumento no conteúdo de cromo superior a 30 %, proporcionava formação de composto intermetálico, tornando a liga excessivamente friável. Verificaram a presença dos elementos molibdênio, tungstênio e carbono sendo o último, responsável pela melhora nas propriedades mecânicas da liga. Relataram a necessidade de técnicas e materiais especiais para a fundição, como o revestimento aglutinado por sílica ou fosfato e fontes de calor para temperaturas elevadas. Quando comparadas com as ligas de ouro, as ligas de Co-Cr apresentavam valores menores de resistência à tração, limite

de escoamento e alongamento, embora com valores maiores de dureza e módulo de elasticidade. Considerando os tratamentos térmicos, as ligas estudadas apresentaram comportamentos diferentes ao das ligas de ouro, não sendo passíveis de serem modificadas mecanicamente por estes artificios.

Em 1948, **SMITH**⁴² efetuou um trabalho com a liga Vitallium e afirmou que esta liga era composta de 65% de cobalto, 30% de cromo e 5% de molibdênio. O autor demonstrou que a temperatura de fusão da liga era em torno de 1.370 °C, e aconselhou o emprego do maçarico à oxigênio e acetileno para sua fusão; o uso de fundente especial, como forma de impedir a oxidação; e, revestimento aglutinado por silicato de etila, para compensar a contração de fundição da liga.

Em 1949, **LANE**³² realizou um estudo sobre ligas metálicas odontológicas. A respeito das ligas de Co-Cr, o autor constatou que as fundições com este tipo de liga eram cinco vezes maiores do que as confeccionadas com as ligas de ouro. Relatou que os critérios desejáveis para a substituição do ouro por Co-Cr incluíam: menor dificuldade técnicas de utilização; propriedades químicas que não produzissem efeitos patológicos ao operador e ao paciente e que possibilitassem resistência à desintegração no meio bucal; propriedades físicas como resistência, temperatura de fusão, coeficiente de expansão térmica e condutividade térmica satisfatórias; baixo custo e disponibilidade em situações de emergências mundiais. O autor citou como vantagens das ligas de Co-Cr sobre as ligas áureas: melhor tolerância dos tecidos orais; manutenção do brilho e superfície polida; peso específico de 8,9 g/cm³ contra 16,9 g/cm³ das ligas de ouro, o que possibilitava alta resistência em estruturas delgadas; baixo custo; elevada dureza, que conduzia à manutenção do brilho sob situação de abrasividade; e, elevada rigidez, estando indicadas em situações clínicas diversas. Como desvantagens, a necessidade de equipamentos caros e específicos; menor ductilidade que as ligas de ouro; impossibilidade de tratamento térmico; maior módulo de elasticidade; temperatura de

fusão superior e maior contração de fundição na solidificação, exigindo uso de revestimentos especiais; e, difícil acabamento e polimento. O autor ressaltou que o conteúdo de cromo era responsável pela resistência à oxidação; o carbono, ligeiramente solúvel na solução sólida de cobalto e cromo, era responsável pelas propriedades mecânicas e resistência à corrosão; a presença de tungstênio tendia a estabilizar a liga, tornando as propriedades mecânicas mais uniformes de uma fundição para outra; o berílio agia como redutor da temperatura de fusão; o nitrogênio atuava semelhantemente ao carbono; o magnésio tornava o comportamento da liga mais estável, implicando maior resistência e ductilidade; e, que a substituição de porcentagens de cobalto por níquel, reduzia o custo, elevando os valores de ductilidade. O autor afirmou, ainda, que o tamanho granular destas ligas estava diretamente relacionado com a temperatura do molde e do metal, ocorrendo aumento no tamanho granular, tornando a liga mais fraca e dúctil. Ligas de diferentes tamanhos granulares apresentavam variação de 50% na ductilidade e pequena variação na resistência. Variações na temperatura tinham efeito adicional sobre o espaçamento de carbonetos. Um aumento na temperatura do molde, conduzia ao aumento do espaçamento entre carbonetos, sendo que a variação na temperatura da liga não afetava este fenômeno. O espaçamento entre carbonetos alterava a ductilidade, agindo pouco sobre a resistência do material. O autor concluiu que considerando-se apenas o custo, não havia razão em substituir uma liga nobre por uma não nobre.

Em 1958, **EARNSHAW**¹⁹ definiu como contração de fundição a máxima contração que podia ocorrer durante a fundição de uma determinada liga. Afirmou que a contração térmica da liga durante a solidificação, era compensada pela adição de metal liquefeito fornecido pelos condutos de alimentação e câmara de compensação, cuja contração aparente era igual à contração da liga quando do resfriamento a partir da temperatura de *solidus* para a temperatura ambiente. Para o autor, a contração real de fundição é aquela que realmente ocorre durante o

processo. Constatou que a contração real era menor que a contração aparente, devido a fatores como a fricção no entrelaçamento entre a liga e a superfície do molde que podia ocasionar distorções no processo, principalmente nos primeiros estágios do resfriamento, momento em que a liga apresentava-se com alta ductilidade. Outro fator seria a solidificação prematura de porções da fundição, responsável pela contração, que seria compensada pelo metal liquefeito fornecido pelos condutos e porções não solidificadas. Segundo o autor a contração final de fundição é a diferença entre a contração real de fundição e a compensação provida pela expansão do revestimento. O autor determinou a contração real de fundição de ligas de Co-Cr (Wisil, Croform, Nobilium, Svedion e Virillium), utilizando um dispositivo que consistia de um tubo de aço inoxidável de 6,98 cm de diâmetro por 6,35 cm de altura. Duas perfurações com roscas internas diametralmente opostas foram feitas nas paredes do tubo, compostas de tampões maciços rosqueáveis de 1,65 cm de diâmetro por 2,51 cm de comprimento. Outros dois tampões com orifícios internos foram confeccionados com dimensões idênticas aos primeiros, porém com orifícios internos onde eram acopladas hastes de 0,31, 0,63 ou 0,95 cm de diâmetro por 6,35 cm de comprimento. Uma base formadora de cadinho de formato cônico foi adaptada ao tubo metálico. Foram utilizados dois tipos de revestimento (Baker e Virillium), cujos moldes foram aquecidos às temperaturas de 500 e 600 °C, seguido pelo resfriamento à temperatura ambiente, antes do procedimento de fundição. O autor concluiu que a contração real de fundição foi afetada pela resistência do revestimento, sendo que quanto maior a rugosidade superficial do molde, menor a contração da liga. Outro fator seria a dimensão da fundição, onde padrões com menor volume, portanto com menor área de superfície, apresentavam maior contração.

Em 1960, **HARCOURT**²⁷ estudou as alterações que podiam ocorrer sobre a estrutura das ligas de Co-Cr, causadas pelas diferentes composições da mistura oxigênio e acetileno e diversas distâncias entre a extremidade do maçarico e

a liga durante o procedimento de fundição. Para isto, utilizou dois tipos de amostras confeccionadas com a liga Croform 4: uma medindo 1,90 por 1,27 por 0,07 cm e a outra, medindo 1,90 por 0,19 por 0,38 cm. Os padrões foram incluídos num anel metálico forrado com amianto, utilizando revestimento à base de silicato de etila. Três tipos de chama foram utilizadas no estudo: chama neutra, contendo uma mistura de 1,75 kg/cm² de oxigênio e 3,51 kg/cm² de acetileno; chama carborizante com 1,40 kg/cm² de oxigênio e 3,51 kg/cm² de acetileno e chama oxidante com 2,10 kg/cm² de oxigênio e 3,51 kg/cm² de acetileno. Cada tipo de mistura foi avaliada de acordo com a distância mantida entre a extremidade do maçarico e o cadinho (5, 8 e 10 cm). Foram utilizados cadinhos especiais com pares termo-elétricos que permitiam a verificação da temperatura da liga em cada fundição. Para todas as fundições foi utilizada uma máquina de fundição com centrifuga vertical. Foram feitas avaliações quanto à ocorrência de porosidades através de raios X, além de fotomicrografias, após polimento metalográfico, das secções obtidas em todas as amostras. O autor concluiu que: a inclusão de gases podia ser evitada pelo posicionando adequado da chama do maçarico à 10 cm de distância; os efeitos das chamas carborizante e neutra sobre a estrutura das fundições sofriam influência da distância da chama até o cadinho, podendo diminuir a resistência da liga; e, as porosidades podiam ser prevenidas evitando-se a inclusão de partículas de revestimento, além de óxidos e fuligem no cadinho.

ASGAR & PEYTON⁴, em 1961, estudaram o efeito de diferentes condições de fundições sobre as propriedades mecânicas de ligas do sistema Co-Cr. Confeccionaram 120 amostras com a liga de Co-Cr Stellite 21, de acordo com as recomendações da A.D.A., utilizando revestimento aglutinado por fosfato. As condições avaliadas foram: 1) metal fundido a 1.426,7 °C com temperatura do molde a 871,1 °C e resfriamento à temperatura ambiente; 2) metal fundido a 1.426,7 °C, molde a 704,44 °C e resfriamento à temperatura ambiente; 3) metal fundido a 1.537,8 °C, molde a 871,11 °C e resfriamento à temperatura ambiente; 4)

igual a condição número 1, com tratamento térmico das amostras em forno a 871,11 °C por 1 hora e resfriamento rápido em água. Após avaliação das propriedades físicas, as amostras foram analisadas metalograficamente analisando as possíveis causas das fraturas. Encontraram uma variação da resistência à tensão de ruptura de 674 a 755 MPa e módulo de elasticidade de 2,1 a 2,8 x 10⁵ MPa. Com isso os autores concluíram que: o maior alongamento percentual encontrado, ocorreu quando usaram uma temperatura alta de fusão e que a presença ou não de microporosidade na liga não alteraram significativamente a resistência à tensão de ruptura, porém a presença das mesmas alteraram significativamente o alongamento.

EARNSHAW²⁰, em 1961, avaliou a resistência à fadiga de uma liga de Co-Cr (Croform 4) utilizando amostras com 3 mm de largura, 1 mm de espessura e 13 mm de comprimento. Padrões de cera foram incluídos em revestimento aglutinado por silicato de etila e as fundições foram efetuadas com a liga à temperatura de 1.450 °C e o molde a 1.150 °C. Para este estudo foi utilizado um dispositivo que mantinha as amostras presas por uma das extremidades, enquanto a outra era movimentada ciclicamente. As amostras foram mantidas imersas em água a 37 ± 1 °C, para que o comportamento da liga durante o teste fosse equivalente ao comportamento clínico. A deflexão das amostras foi avaliada através de um extensômetro acoplado à extremidade móvel, sendo submetida a 1.000 ciclos por minuto. Foram utilizadas trajetórias de 0,3 a 1,1 mm, sendo a deflexão calculada por um extensômetro e a solicitação das amostras, calculada por um dinamômetro, ambos, acoplados à máquina de ensaios. O teste foi conduzido através de deflexões flutuantes ao invés de constantes, simulando as condições bucais. Segundo o autor, muitas vezes a solicitação excedeu o limite de escoamento do material, causando deformação permanente à amostra. O autor concluiu que foram obtidos valores elevados de resistência no início dos movimentos cíclicos, devido a liberação de esforços induzidos pelo jateamento de areia ou devido ao escoamento plástico das camadas externas das amostras, fenômenos que aumentavam os verdadeiros

valores de fadiga em quantidades iguais àqueles liberados. Verificou, também, que ocorria um endurecimento da liga perto dos 2.812 kg/cm², considerado o verdadeiro valor de resistência à fadiga, que não podia ser excedido.

Em 1961, **HARCOURT**²⁶ analisou metalograficamente amostras fraturadas de estruturas de Co-Cr, seccionando as partes que apresentavam áreas de fratura. As amostras foram analisadas em microscopia ótica, sendo posteriormente polidas metalograficamente e avaliadas quanto à ocorrência de inclusões, contração e porosidade, sendo, então, fotografadas. Foram posteriormente atacadas eletroliticamente e avaliada a fase de carbono, tamanho de grãos e estrutura dendrítica. O autor concluiu que: 1) em muitos casos, os defeitos na estrutura das fundições produziam fraturas; 2) o tamanho granular variava consideravelmente entre uma área de estrutura fina e outra de estrutura espessa; 3) muitas fraturas ocorreram no apoio oclusal, na junção com os braços do grampo; e, 4) os apoios oclusais tornavam-se mais resistentes à fraturas, quando eram confeccionados com secção esférica de diâmetro maior.

Em 1963, **BATES**⁶ realizou um estudo avaliando diversos aspectos de desenhos de grampos fundidos para próteses parciais removíveis, assim como as propriedades físicas das ligas, em amostras de secção retangular, medindo 1,52mm de espessura por 2,54mm de largura por 30 mm de comprimento. Numa extremidade foi confeccionada uma pequena marca, onde um fio de aço inoxidável foi adaptado para a verificação da deflexão através de um microscópio comparador. O autor verificou que o desvio padrão era, no mínimo, igual ao dobro do verificado para as ligas de ouro, indicando uma grande variação nas propriedades ensaiadas. O autor avaliou também a deflexão dos grampos no limite proporcional, utilizando amostras como as mesmas características anteriormente descritas descritas, contudo, com 10 mm de comprimento e com diferentes raios de curvatura. A máxima deflexão encontrada foi 0,170 mm, sendo um valor extremamente baixo, que podia

comprometer a retenção dos grampos e exercer demasiada pressão nos dentes suportes. Verificou também que um aumento na curvatura, determinava uma diminuição na deflexão, fato compensado pelo aumento no comprimento do grampo.

HARCOURT²⁵, em 1964, avaliou a variação na velocidade de resfriamento, após solidificação, além do efeito de tratamentos térmicos nas propriedades físicas de ligas de Co-Cr. Desta forma, confeccionou amostras em forma de halteres, indicados para avaliação de resistência à tração, medindo 3,49 cm de comprimento. Um grupo de três amostras foi incluído em revestimento, aquecido até a temperatura de 1.000 °C. A fusão foi obtida com maçarico à oxigênio e acetileno, mantido afastado 10 cm da liga (Stellite). Além da avaliação da resistência à tração e da análise da micro-estrutura, foi também avaliado o tamanho granular e o tamanho das células. Os tratamentos realizados nas amostras foram: grupo I - resfriamento: a) resfriamento rápido do molde em água; b) resfriamento lento sobre bancada, por 15 minutos; c) resfriamento lento sobre bancada, por 60 minutos; e, d) resfriamento lento em forno, por 24 horas; grupo II - aquecimento: a) liberação de esforços por aquecimento em forno até 850 °C, manutenção por 30 minutos e resfriamento lento no forno; b) envelhecimento com manutenção em forno por 5 horas a 850 °C; c) tratamento de solução por manutenção a 1.260 °C por 15 minutos seguido por resfriamento em ar; e, d) envelhecimento após tratamento de solução por 5 horas a 850 °C. O autor concluiu que o resfriamento rápido do molde contendo as fundições, reduziu a resistência à tração e aumentou a porcentagem de alongamento. O resfriamento lento, aumentava a resistência à tração e diminuía a porcentagem de alongamento. Tratamentos térmicos por aquecimento, provocavam aumento acentuado da resistência à tração e diminuição da porcentagem de alongamento. O resfriamento sobre bancada por 15 minutos, seguido de resfriamento rápido em água, promovia o melhor balanço entre as propriedades físicas avaliadas. A variação da micro-estrutura tinha relação com o tratamento térmico imposto. Nenhum dos tratamentos causava variações nas dimensões das

fundições e o procedimento de polimento aumentava a dureza e a resistência à abrasão das fundições submetidas ao tratamento térmico por aquecimento.

Em 1965, **BATES**⁷ realizou um levantamento sobre às propriedades mecânicas de ligas de Co-Cr e sua relação com o planejamento das próteses parciais removíveis. Analisou diversas propriedades, como o limite proporcional, onde verificou que as ligas de ouro submetidas ao tratamento térmico poderiam alcançar 5.624 kg/cm^2 , contra 4.218 kg/cm^2 das ligas de Co-Cr, o que contrariava a maioria das publicações até então. Verificou também que o limite proporcional obtido no teste de tração apresentava resultados inferiores àqueles avaliados em flexão. O autor verificou ainda, que o limite proporcional era influenciado pela secção transversa das estruturas, sendo que as de formato cilíndrico, registravam valores maiores. Segundo o autor, este fato era de grande importância para a confecção dos grampos, que durante tensão de flexão, mostravam concentração de esforços na porção fixa, levando à fraturas, fenômeno amenizado pela secção circular ou semi-circular, com espessura decrescente da porção fixa para a extremidade. O autor afirmou que as estruturas em Co-Cr apresentavam a metade da deflexão fornecida pelas ligas de ouro. Verificou que três eram os fatores de influência no planejamento dos grampos: propriedades mecânicas das ligas; formato do grampo (comprimento, curvatura, secção transversa e angulação do corpo para a extremidade); e, deflexão do grampo causada por áreas retentivas. Com relação ao comprimento, verificou que este era diretamente proporcional à deflexão do grampo. Constatou, também, que a espessura e a largura do grampo eram grandezas inversamente proporcionais à deflexão e que a curvatura reduzia esta propriedade. As ligas de ouro suportando maior deflexão, podiam ser utilizadas em áreas de maior retenção. Com relação as fraturas por fadiga, o autor verificou que este limite estava acima do limite proporcional, entretanto, este fato poderia ocorrer, já que no período de dez anos, ocorriam no mínimo 5×10^6 ciclos. Nas ligas de ouro, o limite de fadiga estava mais próximo do limite proporcional e que as porosidades reduziavam este limite, em ambas

as ligas. O autor afirmou que ligas de Co-Cr apresentavam menores valores de ductilidade que as ligas áureas, sendo esta propriedade significativamente influenciada por porosidades, não sendo modificadas mecanicamente.

Em 1965, **BATES**⁸ realizou um estudo relativo a fraturas de próteses parciais removíveis através da determinação do limite de fadiga por flexão. Foram confeccionadas amostras com formato em halteres, semelhante às amostras para resistência à tração, mas com metade das dimensões originais. As amostras foram incluídas em revestimento e fundidas com liga de Co-Cr (Croform) à temperatura de 1.050 °C, utilizando máquina de indução elétrica. Os anéis de fundição foram deixados resfriar à temperatura ambiente. As amostras foram examinadas quanto ao peso específico, comparando-as a lingotes quentes; quanto ao número e superfícies de inclusões, mediante a análise em microscópio Vickers; quanto a metalografia, analisando o tamanho de grãos e distribuição de carbono; e, finalmente, quanto a rugosidade de superfície, utilizando rugosímetro Talysurf. Para a avaliação da resistência à fadiga, as amostras foram submetidas a até 5×10^6 ciclos com carga de até 21×10^5 kg/cm², em uma máquina de ensaios cíclicos, sendo acondicionadas em 100 % de umidade relativa e a 37 °C ou à temperatura ambiente. O esforço máximo foi calculado pela seguinte fórmula: $P \times L / b \times d^2$, onde P correspondia à força, L ao comprimento e b e d , referiam-se às dimensões da amostra. O autor concluiu que a resistência era menor quando as amostras estavam estocadas em meio corrosivo (37 °C e 100 % umidade relativa) e que os valores obtidos estavam acima do limite proporcional das ligas de Co-Cr, sugerindo que as estruturas com elas confeccionadas apenas fracassavam se houvesse ocorrência de inclusões ou porosidades.

Em 1965, **CARTER & KIDD**¹² estudaram a influência das variáveis de fundição sobre as dimensões e o acabamento de ligas de Co-Cr. Foram utilizados padrões laminados em cera com formato em "U", medindo 22 mm na base, 25 mm

de altura e 12 mm de extremidades, sendo de 10 mm a distância entre elas, obtidos a partir de matriz metálica. Os padrões apresentavam espessura de 0,4, 0,8 e 1,31 mm. Foram também confeccionados padrões em forma de halteres para o ensaio de resistência à tração. Os anéis de fundição, medindo 70 mm de altura por 82 mm de diâmetro de base, eram ligeiramente expulsivos para auxiliar a remoção do molde. Os autores utilizaram revestimento espatulado manualmente e à vácuo. A temperatura de aquecimento foi elevada em 5^o C por minuto até 970^o C, utilizando a liga Springhard. Para a fundição, foi utilizada fonte elétrica de calor, equipada com pirômetro de platina revestido com sílica fundida, que possibilitava a verificação do efeito de variações de temperatura de fusão da liga sobre a contração. As medições das fundições eram realizadas com auxílio de um microscópio comparador e as dimensões prévias dos padrões, comparadas para determinação da contração. A rugosidade superficial das fundições foi avaliada com auxílio de um rugosímetro Talysurf. Os autores verificaram que a contração foi menor quanto era utilizada temperatura menor de fundição. Verificaram, também, que o aumento da temperatura de fundição resultava no aumento da rugosidade superficial. Os resultados indicaram, além disto, que quanto maior era a área superficial do padrão, maior a rugosidade superficial da fundição, talvez devido ao maior conteúdo de calor destas estruturas, que causariam fraturas da superfície do revestimento. Outro fato observado foi que o aumento da temperatura do molde resultava no aumento da rugosidade superficial. Concomitantemente, verificaram que ocorriam maiores aumentos dimensionais nas fundições, quando comparadas com os padrões, no momento em que utilizavam temperaturas mais elevadas na fusão da liga, sendo esta elevação independente das dimensões prévias. Quando o aumento da temperatura ocorreu no molde, provocava-se aumento nas dimensões das fundições. A geometria do molde também foi avaliada, utilizando anéis expulsivos ou de paredes paralelas, não ocorrendo diferenças entre eles. O posicionamento dos padrões no molde também foi avaliado, posicionando-os vertical ou horizontalmente, sendo que o último, trazia ligeiro aumento dimensional das fundições. Os autores

concluíram que tanto a temperatura do molde como a da liga durante a fusão, deviam ser as mais baixas possíveis. Além disso, deveria ser evitado o aquecimento prolongado durante o procedimento de soldagem e os padrões serem o mais delgado possível.

Em 1965, **HARCOURT & COTTERILL**²⁸ avaliaram a fusão por indução elétrica em ligas nova e refundida à base de Co-Cr, comparando os resultados obtidos em relação à fusão por maçarico à oxigênio e acetileno. Os autores confeccionaram amostras em forma de halteres, medindo 3,49 cm de diâmetro. O bloco de revestimento com os padrões foi aquecido em forno até a temperatura de 1.000 °C. A fusão da liga (Croform 4) foi obtida em aparelho Willians de indução de alta frequência e a zona de fusão foi determinada por dois operadores: um utilizava filtros de vidro escuro, observando a luz difusa oriunda das margens da liga e o outro, avaliava por intermédio de um pirômetro, calibrado para 1.450 °C. Análises metalográficas, incluindo tamanho de grãos e avaliação de inclusões também foram conduzidas. A liga foi refundida 12 vezes e analisada quanto a composição após 3, 6 e 12 fundições. Para avaliar a interferência da atmosfera, dois grupos de testes foram delineados: um, utilizando atmosfera de gás argônio e outro, gás acetileno, introduzidos no cadinho enquanto a liga estava sendo fundida. Os autores concluíram que: a indução de alta frequência produzia maior número de variações no tamanho granular, demonstrando que tamanhos menores diminuíam as propriedades mecânicas, talvez devido à presença de complexos de carbono; a resistência à tração e o limite de escoamento não diferiam significativamente quando da utilização de indução elétrica ou maçarico à oxigênio e acetileno, desde que não houvesse excessivas refusões; e, a fusão com indução elétrica em atmosfera inerte ou redutora, melhoravam as propriedades físicas das primeiras fusões.

Em 1966, **BATES**⁹ realizou um estudo relativo a fraturas de próteses parciais removíveis, avaliando o esforço funcional em infra-estruturas de Co-Cr. O

autor analisou separadamente os esforços aplicados a cada um dos componentes de uma infra-estrutura.. Afirmou que durante a mastigação, uma prótese removível estava sujeita à movimentação no plano horizontal e vertical. O primeiro era causado pelas forças laterais de mastigação, que tendiam deslocar a estrutura, havendo resistência dos grampos de oposição e retenção. O esforço dependia do grau de retentividade que o grampo estava sujeito e das propriedades mecânicas da liga. Dependendo do comprimento e proporção largura-espessura, o grampo podia ser deformado permanentemente na inserção, mas a trinca por fadiga em fundições perfeitas era improvável. Contudo, ajustes mecânicos a frio e erros de fundição, podiam conduzir a fraturas por fadiga. A movimentação no plano vertical, causada pela própria natureza dos alimentos, que tendiam a deslocar a prótese, conduzia a esforços nos grampos de retenção, que atuavam impedindo tal fenômeno. Neste caso, como o esforço estava distribuído em vários dentes e como clinicamente, raras eram as fraturas em grampos de oposição, possivelmente o limite proporcional não era alcançado, não havendo fratura por fadiga (acima do limite proporcional). O autor constatou que existiam divergências quanto à espessura desejável dos conectores. Utilizou extensômetros de silício conectados diretamente a um osciloscópio, em quatro pacientes distintos. O autor verificou que os esforços submetidos à barra lingual estavam em torno da metade do limite proporcional das ligas de Co-Cr, portando, abaixo do limite de fadiga. Em contrapartida, os esforços submetidos aos grampos de oposição estavam bem próximos do limite proporcional e conseqüentemente, do limite de fadiga. Imperfeição no desenho do grampo, poderia conduzir a fraturas. Além disto, considerando que uma infra-estrutura, durante um período de dez anos, poderia se submeter a um número de ciclos igual a 5×10^6 , a colocação e remoção de uma prótese, fazia com que um grampo pudesse se submeter a um número relativamente baixo de ciclos, correspondente a 30.000. O autor concluiu que enquanto as barras linguais estavam sujeitas a baixos esforços em grande número de ocasiões, os grampos sofriam condições opostas, ou seja, de grandes esforços e baixo número de ciclos.

Em 1966, **ALLAN & ASGAR**¹ avaliaram a reação entre ligas de Co-Cr e revestimento. Utilizaram revestimento aglutinado por fosfato (Ceramigold), líquido recomendado e espatulado mecanicamente à vácuo por 30 segundos em inclusor elétrico, selecionando os seguintes estágios para análise por refração de raio X: 1 - pó do revestimento; 2 - revestimento após o endurecimento; 3 - revestimento durante a queima; e, 4 - camada verde formada como produto de reação do revestimento utilizado com duas ligas avaliadas, Stellite 31 e 21. Durante o exame microscópico, verificaram três diferentes produtos de reação: camada verde, predominante; composto marrom avermelhado de cristais não aderidos; e, camada cinza, bastante delgada e posicionada entre a camada verde e o metal. Amostras de revestimento, contendo os produtos de reação foram incluídas em resina acrílica, polidas até a obtenção de uma superfície plana e analisadas quanto à composição. Para avaliarem se a resistência em altas temperaturas (união sílico-fosfato) era atingida a 280 °C, três amostras foram preparadas para cada temperatura - possíveis pontos de reação - e testadas quanto a resistência à compressão. Os autores concluíram que a camada verde, formava-se imediatamente na superfície do metal e continha muitos dos elementos metálicos disponíveis na liga. Verificaram que o manganês e o cromo difundiam-se rapidamente para fora e eram encontrados na camada verde. Da mesma forma, ocorria com o cobalto, no entanto, não na mesma proporção com que este estava presente na liga metálica. Verificaram que as áreas marrons avermelhadas mostravam uma reação entre o cromo e manganês com cálcio.

Em 1971, **MUENCH**³⁷ avaliou as propriedades mecânicas de soldagem de ligas odontológicas com baixo conteúdo de ouro (35, 45 e 55%). Para a avaliação da resistência das uniões soldadas, confeccionou hemi-seções correspondentes a metade de corpos-de-prova de formato em halteres. Estas amostras eram mantidas alinhadas por meio de cera e incluídas em revestimento. Após a presa do revestimento, o bloco era colocado sobre bico de Bunsen para desidratação, secagem e aquecimento. A soldagem seguiu os procedimentos usados

rotineiramente. Após 3 minutos do término da soldagem, o bloco foi resfriado em água. Dois tipos de soldas foram utilizadas: ligas de ouro 18 e 20 quilates. Doze amostras, foram submetidas ao tratamento térmico endurecedor a 400°C por 15 minutos, sendo que doze não receberam nenhum tipo de tratamento. Como meio de avaliar a influência do aquecimento sobre as ligas durante a soldagem, o autor determinou a dureza Brinell de todas as amostras, em locais distantes da região soldada. O autor concluiu que: a soldagem das estruturas proporcionava resistência à tração adequada; o tratamento térmico endurecedor não influenciou na resistência à tração das uniões; o tipo de solda não influenciava a resistência; a liga contendo 35% de ouro apresentava resistência menor que as demais; o tratamento térmico endurecedor e o tratamento conferido pelo processo de soldagem não produziu maior dureza nas amostras; e, que durante o processo de soldagem, com resfriamento lento do revestimento, as ligas avaliadas sofriam tratamento térmico endurecedor e aumento de resistência à tração.

Em 1974, **BERGMAN et al.**¹¹ compararam algumas propriedades químicas e físicas das ligas de Co-Cr Niranium NN (sem níquel) e Vitallium. Para obtenção das amostras, os autores utilizaram revestimento aglutinado por silicato de etila, seguindo as recomendações dos respectivos fabricantes para os ciclos de aquecimento. Utilizaram uma máquina de fundição Temp-co-matic e fonte de calor de fundição à oxigênio e acetileno. Dez amostras de cada liga foram resfriadas em água por 15 minutos e a outra metade por 60 minutos, logo após a fundição. As amostras continham dois formatos distintos: para análise química e microscópica, retângulos de 6mm por 6mm por 3 mm e para ensaio de resistência à tração, amostras com formato em halteres, segundo a especificação número 14 da A.D.A.. Dois corpos-de-prova foram confeccionados para análise química e microscópica foram avaliadas quimicamente, sendo as demais, incluídas em resina, condicionadas com solução de ácido crômico a 2 % seguida por solução de permanganato alcalino e submetidas a espectrometria por absorção atômica. O conteúdo de carbono foi

avaliado por combustão. As amostras destinadas ao ensaio de resistência, foram inspecionadas por raio X em dois planos perpendiculares e ensaiadas em máquina Zwick, regulada com velocidade de 20 mm por minuto. Os gráficos de deformação foram anotados e as superfícies de fratura foram colocadas juntas para determinação da porcentagem de alongamento. Ensaio de dureza Vickers foi realizado em cada uma das amostras destinadas ao ensaio de resistência mecânica. Micro-estruturalmente, os autores verificaram a estrutura dendrítica típica, tamanho e forma granular uniformes. Diferentes tipos de formação de carbonetos foram evidenciados, alguns irregulares ou de formato esférico e descontínuo. Zonas eutéticas escuras foram, algumas vezes, detectadas próximas ao limite granular. Não verificaram diferenças no tamanho granular entre as duas ligas e entre os dois tempos de resfriamento, embora as amostras resfriadas por 15 minutos, tivessem mostrado menor quantidade de zonas eutéticas e carbonetos mais descontínuos e esféricos. Algumas estruturas carboníticas mostraram coloração marrom (provavelmente contendo cobalto e molibidênio), outras variaram de amarelo claro para escuro (cobalto e molibidênio) e finalmente, outras que variaram de vermelho ao verde ou de amarelo ao azul (contendo cobalto, cromo e molibidênio). Os autores concluíram que não houve diferenças entre as ligas em termos das propriedades físicas, químicas e micro-estruturas estudadas. Concluíram, também, que após 60 minutos de resfriamento, o exame microscópico revelava aumento de zonas eutéticas ao redor dos limites granulares, podendo conduzir a alterações nas propriedades mecânicas, principalmente o alongamento.

Em 1974, LAUTENSCHLAGER *et al.*³⁹ estudaram alguns fatores que determinavam a resistência de uniões soldadas, como o tamanho da área de solda, velocidade de deformação e perfeição da interface metal-liga de solda, tentando sugerir meios para melhorar as características de resistência. Para isto, utilizaram hastes de aproximadamente 25 mm de comprimento, obtidas pela técnica de fundição por eliminação de cera, com uma das seguintes ligas metálicas: latão, liga

de solda com 60% Pb e 40% Sn, 4 ligas de ouro para fundição e 2 ligas de ouro para soldagem, com diferentes graus de pureza. As amostras foram submetidas ao teste de resistência à tração em uma máquina de teste universal Instron. Após a determinação das propriedades dos materiais separadamente, os autores conduziram os testes de resistência das uniões resultantes das combinações das ligas. Foram confeccionadas soldas em hastes de latão com 3 mm de diâmetro por 25 mm de comprimento, após acabamento e polimento das extremidades, utilizando liga de solda composta de 60% Pb e 40 % Sn, por intermédio de ferro elétrico e fundente não ácido. Para o procedimento de soldagem, as amostras foram posicionadas em um bloco em forma de "V", confeccionado em revestimento, sendo que para o teste de tração, foram posicionadas em máquina de teste universal Instron. Outros testes foram conduzidos em amostras confeccionadas com uma das 4 ligas de ouro utilizadas no trabalho, variando as ligas de solda, que se apresentavam com dois níveis de pureza. Os autores concluíram que uniões soldadas delgadas eram críticas, devido a grande concentração de porosidades, sendo que estes poderiam agir como fator de início das trincas. Em uniões soldadas com liga de ouro, devido à semelhança de constituintes, a resistência era influenciada pelas propriedades do material e pelas uniões livres de porosidades. Verificaram, também, que as uniões soldadas apresentavam aumento na resistência se houvesse uma grande diferença na composição entre os materiais envolvidos.

Em 1974, **SOUZA**⁴³ afirmou que um metal rompia-se por fadiga quando a tensão cíclica aplicada a ele tivesse uma flutuação suficientemente grande, sendo maior que um valor característico de cada metal, denominado limite de fadiga, podendo ser utilizados no ensaio, a própria peça ou um protótipo, produtos acabados ou corpos-de-prova usinados. Pequenas variações nas dimensões dos corpos-de-prova quase não afetavam os resultados dos ensaios. Grandes amostras apresentavam limite de fadiga mais baixos, devido ao gradiente de tensões. A fadiga era bastante influenciada pela concentração de tensões. A superfície mal acabada,

contendo irregularidades atuantes como entalhes, aumentavam a concentração de tensões, resultando em tensões residuais que diminuíam a resistência à fadiga. As rupturas por fadiga, praticamente, começavam na superfície, já que a aplicação de cargas de flexão ou torção induziam a tensões máximas nesta região. A influência do acabamento superficial era maior quanto mais alto fosse o limite de resistência do material. Para as condições de ensaio em laboratório, o efeito da velocidade de aplicação dos ciclos de carga era praticamente desprezível. O meio de armazenagem exercia efeito pronunciado devido à ação corrosiva e modificação estrutural. A variação de tensão durante o ensaio, modificava o comportamento do material. A sobretensão (ensaio em tensão superior ao limite de fadiga, menor que o necessário para rompê-lo seguido por menor tensão, ainda superior ao limite de fadiga) causava redução da vida em fadiga, enquanto que a subtensão (ensaio a uma tensão abaixo do limite de fadiga durante longo período de ciclos seguido por elevação de tensão, maior que este limite), conduzia ao aumento do número de ciclos até a fratura, fenômeno provavelmente causado pelo encruamento localizado nos locais de possível nucleação de trincas. A fratura por fadiga ocorria em etapas distintas: 1-nucleação da trinca; 2-propagação da trinca; e, 3-ruptura da peça ou corpo-de-prova, sendo que as duas primeiras tomavam praticamente todo o tempo do ensaio. A ruptura era sempre acompanhada por deformação plástica localizada principalmente em cantos vivos, entalhes, inclusões, vazios, trincas pré-existentes, pites de corrosão e contornos de grãos. Uma vez iniciada a trinca, ela se propagava macroscopicamente e de maneira descontínua em um plano situado em ângulo reto com o plano das tensões principais atuantes no corpo-de-prova.

Em 1976, **MORRIS et al.**³⁶ avaliaram a distribuição de esforços em braços de grampos circunferenciais de próteses parciais removíveis, determinando a região de maior concentração de esforços e comparando esta área com aquelas de maior incidência de fraturas. Padrões pré-fabricados foram incluídos em gesso, e os moldes negativos foram seccionados em diferentes intervalos a partir da

extremidade, para a avaliação da angulação dos diversos modelos, que totalizavam 25. O grau de angulação (diferença de espessura entre a área de união com o corpo da prótese e a extremidade do grampo) variou entre 0,015 a 0,045, sendo que alguns padrões mostraram valores entre 0,020 e 0,030. Os autores utilizaram dois métodos para determinação da distribuição de esforços. O primeiro deles, consistiu de padrões confeccionados em material fotoelástico obtidos com diferentes angulações: 1 - sem angulação; 2 - angulação moderada (0,030); e, 3 - extremamente angulado (0,050). Estes padrões foram montados em um aparelho fotoelástico de bancada, sendo submetidos de 0,4 a 1,79 kg de tensão. O segundo método, usado para determinação do esforço máximo de cisalhamento, consistiu de análise numérica com aplicação de fórmula matemática de determinação de esforço, em vários pontos do grampo. Os autores verificaram que os padrões sem angulação apresentavam melhor distribuição de esforços que os angulados. Verificaram também que a concentração de esforços desfavoráveis podiam causar fratura do grampo, quando outros fatores, como porosidades estivessem conjugados. Outro dado encontrado, refere-se ao esforço máximo de cisalhamento, reduzido em padrões sem angulação alguma. Verificaram que a medida em que a angulação do padrão acentuava-se, a concentração de esforços aumentava, dirigindo-se à extremidade. Finalmente, os autores verificaram que o esforço máximo de tração em um grampo aproximava-se de $346,89 \text{ kg/cm}^2$, portando bem acima da resistência máxima à tração da liga de Co-Cr, conduzindo ao raciocínio de que a fratura de grampos não era apenas uma função do desenho, mas também de variáveis como porosidades, irregularidades superficiais e fadiga.

Em 1976, **STRANDMAN**⁴⁴ avaliou a influência de diferentes conteúdos de carbono sobre as propriedades mecânicas de ligas de Co-Cr. As amostras utilizadas apresentavam formato de halteres, medindo 50 mm de comprimento total, 8 mm de diâmetro nas extremidades e 8 mm de comprimento por 4 mm de diâmetro em sua porção central. Para avaliar a influência da variação do conteúdo de carbono foram utilizadas chamas com 48 a 56 % de acetileno. Após a fundição, os condutos

de alimentação foram cortados e medidas os níveis de carbono e dureza, realizados nas secções. As amostras foram submetidas ao ensaio de tração e a deformação e o alongamento de cada uma foram avaliados, assim como a superfície de fratura, que foi examinada metalograficamente. O autor concluiu que: 1) quando o conteúdo de carbono aumentava, também aumentavam a dureza, o limite de escoamento e a resistência à tração, ocorrendo diminuição no alongamento da liga em função das diferentes chamas empregadas; 2) o aumento nas propriedades mecânicas podia ser considerado benéfico; 3) a diminuição no alongamento limitava a utilização da liga em Odontologia; e, 4) o método de fundição utilizado, não aumentava o conteúdo de carbono na liga.

STRANDMAN⁴⁵, em 1976, estudou a influência de diferentes chamas de oxigênio e acetileno sobre o conteúdo de carbono em ligas de Co-Cr. Para isto, confeccionou amostras medindo 8 mm de diâmetro por 30 mm de comprimento, segundo as recomendações do fabricante para o proporcionamento e procedimento de vazamento do revestimento. Os moldes permaneceram em forno a 1.000 °C por aproximadamente 210 minutos. Após as fundições, o molde foi deixado resfriar, o revestimento fraturado e as amostras acabadas com escova de aço, sendo posteriormente jateadas. O autor avaliou as seguintes condições: a) o conteúdo de carbono da liga, da maneira como ela foi encontrada no comércio, para tecer comparações com as variáveis utilizadas; b) verificou se o conteúdo de carbono no cadinho interferia no conteúdo de carbono da liga, aquecendo o cadinho por 120 segundos com chama oxidante, cobrindo-o com uma camada espessa de fuligem e procedendo a fundição da liga; c) avaliou se a mistura de gás da chama interferia no conteúdo de carbono da liga, quando esta era injetada no molde logo após a fusão, utilizando chamas com conteúdos crescentes de acetileno e decrescentes de oxigênio; d) avaliou a influência da mistura de gás da chama sobre o conteúdo de carbono, aquecendo a liga por 30 ou 60 segundos após a fusão; e) avaliou novamente a condição d, aquecendo a liga por 90 e 120 segundos para chamas

contendo 39, 48 e 52 % de acetileno e por 90, 120 e 150 segundos para chama contendo 59 % de acetileno; f) avaliou se refusões interferiam no conteúdo de carbono, fundindo a mesma liga de duas a cinco vezes e utilizado chamas contendo 48 e 52 % de acetileno; g) avaliou se diferentes volumes de liga interferiam no conteúdo de carbono, fundindo 5, 15, 25, 35, 45 e 50 gramas de liga; e, h) avaliou se diferentes posições da chama alteravam o conteúdo de carbono, aumentando a distância do maçarico para o cadinho progressivamente de 40 para 55 e 70 mm. Em todas as circunstâncias, o conteúdo de carbono foi medido pelo método volumétrico de gás e a análise da micro-estrutura foi realizada para todas as condições avaliadas. O autor concluiu que o conteúdo de carbono no cadinho não alterava o da liga; quando porções oxidantes da chama eram utilizadas, o conteúdo de carbono da liga não era alterado durante o processo de fundição; quando excesso de acetileno presente na chama entrava em contato com a liga, ocorria aumento no conteúdo de carbono da mesma e uma diminuição na resistência; o conteúdo de carbono ficava estável quando liga refundida era misturada com a liga nova; quando havia excesso de acetileno na chama, a variação de carbono na liga era determinada pela secção da chama utilizada.

Em 1976, **STRANDMAN & GLANTZ**⁴⁶ avaliaram a influência de variações na composição da chama de oxigênio e acetileno sobre os procedimentos de fundição de ligas de Co-Cr. No estudo, foram utilizadas chamas com composição entre 39 a 59 % de acetileno. Em todas as misturas foi utilizada a velocidade de escoamento de gás no maçarico de 1,77 a 1,78 m³/h. A estrutura característica das chamas foi determinada por meio de filmes negativos coloridos tomados em laboratório. Foi utilizada a liga de Co-Cr Wizil, cuja composição foi avaliada por absorção atômica. O bloco de revestimento com a base formadora do cadinho voltada para baixo e o cadinho para fundição foram colocados num forno em temperatura ambiente. A capacidade de aquecimento das chamas utilizadas foi verificada por pares termo-elétricos posicionados nos cadinhos, pré-aquecidos em

forno a 1.000 °C, distantes 40 mm da ponta do maçarico e utilizando 4 pepitas de liga. Em um dos experimentos, a capacidade de aquecimento das misturas utilizadas foi verificada variando-se a distância do maçarico ao cadinho de 55 a 70 mm; em outro, a velocidade de fusão da liga foi verificada por meio de um cronômetro. Os ensaios realizados foram: 1) velocidade de fusão com pré-aquecimento do cadinho até 1.000 °C e utilização de chamas de 48 a 56 % de acetileno, usando 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9 ou 10 pepitas de liga; 2) velocidade de fusão com cadinhos com e sem pré-aquecimento, utilizando chamas de 48 a 50 % de acetileno com e sem uso de fundente; e, 3) velocidade de fusão com cadinhos pré aquecidos, utilizando chamas com 48, 52 e 54 % de acetileno, variando-se a distância do maçarico ao cadinho. Os autores concluíram que a velocidade de aquecimento da liga era governada pela temperatura da secção da chama, pela tendência à oxidação das secções da chama, e, pela temperatura inicial do cadinho. Quando era utilizada a chama redutora, a velocidade de aquecimento dependia da temperatura da chama, e com chama oxidante, ocorria diminuição na velocidade de fusão devido a formação de uma camada de óxidos; com pré-aquecimento do cadinho, a chama tinha pouca importância e sem pré-aquecimento do cadinho, a escolha da chama era importante para que ocorresse rápida fusão; ocorria rápido aquecimento da liga com utilização da chama oxidante e cadinho pré-aquecido, com pouca influência sobre as propriedades da liga; o aumento na quantidade da liga não produzia efeito sobre a velocidade de aquecimento; a utilização de fundente tinha pouca influência sobre a velocidade de aquecimento da liga; e, finalmente, o aumento das distâncias entre o maçarico e a base do cadinho, resultava num aumento no tempo de fusão.

Ainda em 1978, **LEWIS**³⁴ avaliou fracassos de próteses parciais removíveis durante o uso clínico. O autor coletou 41 infra-estruturas fraturadas em serviço, documentando se eram próteses superiores ou inferiores, a liga utilizada nas fundições, localização do sítio de fratura, que incluía presença de vazios e porosidades, evidência de fratura por fadiga e as dimensões da secção transversa no

ponto fraturado. A avaliação foi conduzida com auxílio de um estéreo-microscópio. O autor verificou que muitas das falhas, ocorreram devido à presença de vazios e porosidades. Verificou também fraturas por falha de tração, detectadas devido à textura rugosa da superfície de fratura. Falhas por trinca de fadiga foram encontradas e evidenciadas pela textura lisa e plana da superfície de fratura e muitas falhas ocorriam devido à deficiência de material no corpo da estrutura fraturada. Nas infra-estruturas inferiores, falhas ocorriam na barra lingual, no ponto divisório entre as porções fixas e móveis da prótese parcial removível. Em estruturas superiores, a fratura da barra palatina era característica, devido à maior concentração de esforços. Fraturas devido a diferenças abruptas de secções transversas também eram detectadas. Insuficiente espessura do corpo do material, devido a procedimentos inadequados de enceramento e acabamento, certamente contribuíam com as falhas. A tensão elástica desenvolvida durante a movimentação da prótese pode concentrar-se em determinadas áreas promovendo a fratura. As porosidades e vazios promoviam redução da área seccional, causando redução de resistência da estrutura em serviço e concentração de esforços, que agiam como sítios de propagação de fraturas.

Em 1979, **MORRIS et al.**³⁵ determinaram o efeito do tratamento térmico sobre as propriedades e micro-estrutura das ligas Vitallium (Co-Cr), Dentillium (Fe-Cr), Durallium (Co-Cr-Ni) e Ticonium 100 (Cr-Ni). Cinquenta hastes foram confeccionadas de acordo com a especificação número 14 da A.D.A., para cada liga numa máquina de fusão por indução elétrica. Cinquenta amostras de cada liga foram divididas aleatoriamente em 5 grupos, um deles como controle (sem tratamento térmico) e os outros submetidos às temperaturas de 1.300, 1.600, 1.900 e 2.200 °C por 15 minutos e imediato resfriamento em água. Todas as amostras foram avaliadas em máquina de teste universal Instron, utilizando conjuntamente um extensômetro com capacidade para 454 gramas. Também foram calculados o limite de escoamento, máxima resistência à tração, módulo de elasticidade e porcentagem

de alongamento. Para cada liga e condições ensaiadas, as áreas de 3 hastes fraturadas foram analisadas metalograficamente, realizados testes de dureza Knoop e atacadas eletroliticamente. Os autores concluíram que: 1) os mais altos valores foram obtidos sem o tratamento térmico; 2) tratamento térmico em ligas de prótese parcial removível resultava em redução na resistência e valores variados de alongamento, devendo-se evitar aquecimento prolongado durante a soldagem, além de aquecimento ao rubro durante acabamento e polimento; e, 3) a liga Durallium era a mais afetada pelas condições do tratamento térmico.

Em 1979, **RASMUSSEN *et al.***⁴¹ investigaram a resistência à tração de uniões soldadas em ligas de ouro e ouro-paládio, variando as distâncias entre as partes a serem unidas. Utilizaram hemi-seções de amostras com formato em halteres. Cada uma, apresentava 12 mm de comprimento total, uma extremidade maior, contendo 4,5 mm de diâmetro por 2,5 mm de comprimento, uma extremidade menor, de 5 mm de comprimento por 2,5 mm de diâmetro e uma porção intermediária, apresentando 4 mm de comprimento por 3,2 mm de diâmetro. Um total de 120 hemi-seções foram incluídas de acordo com as recomendações das ligas de ouro tipo III e ouro-paládio, utilizadas no estudo. Um dispositivo indexador foi utilizado, possibilitando o relacionamento uni-axial das hemi-seções e a variação das distâncias entre elas. Variações na centricidade entre as hemi-seções soldadas foram removidas mecanicamente. O procedimento de soldagem para as amostras em liga de ouro, baseou-se no aquecimento em forno até 815,5 °C, remoção e colocação em bloco de soldagem. As porções foram aquecidas pela chama proveniente do maçarico para combustão de gás e ar até a obtenção de coloração avermelhada, momento em que a liga de solda foi posicionada, até seu escoamento. Após, o conjunto foi resfriado sob bancada por 5 minutos, seguido por resfriamento rápido em água. Algumas amostras em liga de ouro-paládio foram soldadas da mesma maneira que as ligas de ouro, sendo que outras, foram soldadas em forno a 871,1 °C. Dez amostras de cada liga foram preparadas para uma das seguintes

condições de afastamento avaliadas: 0,13, 0,5 e 1,0 mm. O ensaio de resistência à tração conduziu-se em uma máquina de ensaios universal Instron, regulada com velocidade de 13 mm por minuto até a ruptura, sendo as superfícies de fratura, analisadas fotograficamente. Os autores relataram que a resistência de uniões soldadas respaldava-se em cinco fatores: molhabilidade da solda, resistência dos metais a serem soldados, geometria da junção, lacunas e inclusão de fundente, além da espessura da liga de solda na área de união. Com relação a molhabilidade da liga de solda, os autores colocaram que quanto maior a temperatura da solda, menor a tensão superficial e melhor a capacidade de umedecimento da área a ser soldada. Por outro lado, em distâncias maiores dos metais a serem soldados, a baixa tensão superficial tendia a causar o completo escoamento da solda, devido à força de gravidade, sendo indicadas as ligas de menores temperaturas de fusão. A falta de umedecimento pode atuar em determinados pontos de concentrações de tensões, diminuindo a resistência. Os autores enfatizaram que a máxima resistência de uniões soldadas foram obtidas com ligas mais resistentes e que a liga de solda deveria cobrir a maior área de superfície possível para obtenção de uniões mais resistentes, além de haver ausência de ângulos vivos na área de solda, que tendiam a localizar esforços e iniciar o processo de fratura. A superfície do metal a ser soldado deve-se apresentar-se livre de óxidos ou impurezas, substâncias dissolvidas pelo fundente, que se utilizado em excesso, tendia a ser incluído na área de solda, reduzindo a resistência. A presença de lacunas não eram de responsabilidade exclusiva do fundente, podendo ser causadas por pequenas distâncias para escoamento da solda e expansão térmica do metal a ser soldado. Todavia, afirmaram que distâncias pequenas tendiam a reduzir o escoamento da solda, principalmente naquelas com menores temperaturas de fusão. Os autores concluíram que nas ligas de ouro havia um aumento da resistência com o aumento da distância entre as porções a serem soldadas; para as ligas de ouro-paládio, a resistência das uniões com pequenas distâncias obtidas em forno e com distâncias maiores obtidas com maçarico, não apresentavam superioridade estatística; as uniões obtidas por maçarico eram

superiores às obtidas em forno; e, que as diferenças nos valores de resistência, eram devido a fatores como molhabilidade da solda, inclusões de fundente ou lacunas, variação da distância entre as porções a serem soldadas e resistência da liga metálica.

Em 1981, **DIETER**¹⁸ afirmou que a trinca por fadiga ocorria quando uma metal era submetido a tensão repetida ou flutuante com ruptura em tensão muito inferior àquela necessária para ocasionar fratura quando da aplicação de carga estática. As falhas por fadiga, em virtude de carregamento dinâmico, eram observadas após período de serviço considerável, não ocorrendo variação marcante na estrutura que pudesse servir de indício para compreensão das razões da ocorrência. Nos dias atuais, a fadiga é responsável por 90 % das falhas de serviço relativas a causas mecânicas. O fenômeno dava origem a uma fratura frágil, sem existência de deformação macroscópica na fratura. A superfície de fratura em escala macroscópica era quase sempre normal à direção da tensão principal, podendo ser reconhecida a partir do aspecto da superfície, a qual se apresentava lisa, decorrente da fricção que se verifica entre as superfícies durante a propagação da trinca e uma região áspera, na qual a peça se rompia de maneira dúctil, quando a secção transversal já não era capaz de suportar a carga aplicada. O progresso da fratura era freqüentemente indicado por uma série de anéis que se desenvolviam do ponto de início da trinca para o interior da secção. A falha ocorria geralmente num ponto de concentração de tensão, tal como um canto vivo, um entalhe ou uma concentração de tensão metalúrgico como uma inclusão. Segundo o autor, eram três os fatores básicos para causar a falha por fadiga: uma tensão máxima suficientemente alta; uma variação ou flutuação na tensão aplicada suficientemente alta; e, um número de ciclos de aplicação da tensão suficientemente grande. Além destas, existiam outras variáveis como a concentração de tensão, corrosão, temperatura, sobrecarga, estrutura metalúrgica, tensões residuais e tensões combinadas, que tendiam a alterar as condições de ocorrência da fadiga. As tensões flutuantes que podiam

ocasionar a fadiga são: ciclo de tensões alternadas, produzida por uma máquina de fadiga de viga rotativa, sendo as tensões máxima e mínima iguais (tração positiva e compressão negativa); ciclo de tensões flutuantes, com carga máxima e mínima diferentes; e, ciclo de tensões de sobrecargas periódicas imprevisíveis. As falhas por fadiga estavam relacionadas com um grande número de ciclos, geralmente maior que 10^5 ciclos. Nestas condições a tensão era elástica, mas o metal se deformava plasticamente de maneira localizada. Para tensões maiores, a vida em fadiga decrescia progressivamente. Limite de resistência à fadiga era descrito como o sendo a tensão limite que o material podia suportar um número infinito de ciclos sem se romper. Para determinação do limite de resistência à fadiga, eram necessários de 8 a 12 corpos-de-prova, ensaiados em diferentes tensões, ocorrendo uma grande dispersão nos valores observados de número de ciclos para a fratura. As características estruturais da fadiga, permitiam a divisão do processo nos seguintes estágios: 1- iniciação da trinca, incluindo o desenvolvimento inicial dos danos causados por fadiga; 2 - crescimento da trinca em banda de deslizamento, relativo ao aprofundamento da trinca inicial nos planos de alta tensão cizalhante (estágio I de crescimento de trinca); 3 - crescimento da trinca em banda de tração, envolvendo o crescimento de uma trinca bem definida em direção normal à tensão de tração máxima (estágio II de crescimento de trinca); e, 4 - ruptura final estática, ocorrendo quando a trinca atingia um tamanho tal que a secção transversa não podia mais suportar a carga. A propagação da trinca de fadiga era normalmente transgranular. As trincas de fadiga geralmente iniciavam-se numa superfície lisa. Nas raras oportunidades em que a trinca principiava no interior do material, sempre existia uma interface envolvida. A resistência à fadiga diminuía consideravelmente devido a presença de um concentrador de tensão no material, como um entalhe ou um buraco, ou seja, devido a descontinuidades geométricas. O redutor de resistência podia advir também de rugosidade da superfície ou concentradores metalúrgicos como porosidades, inclusões e super-aquecimento local. Segundo o autor, o tamanho da amostra influía na resistência a fadiga, sendo menor quanto maior fosse

o tamanho, devido a maior área superficial e devido ao gradiente de tensões. A indução de tensão residual compressiva existente num ponto da superfície, diminuía a probabilidade de ocorrer falha por fadiga neste ponto, provavelmente porque a superfície era uma fonte de baixa resistência. Dentre os métodos de indução de tensão residual compressiva estava o jateamento da superfície. A ação simultânea de tensão cíclica e ataque químico era conhecida como fadiga por corrosão. O ataque superficial induzia o aparecimento de pites que atuavam como entalhes e causavam redução da resistência à fadiga. No entanto, o ataque corrosivo simultâneo com o carregamento em fadiga, conduzia a uma redução ainda superior à corrosão prévia sem ação de tensões, devido ao aumento na taxa de propagação da trinca. O autor definiu como sobretensionamento o processo pelo qual um corpo-de-prova virgem era ensaiado por certo número de ciclos, inferior à fratura, porém de tensão acima do limite de fadiga e posteriormente ensaiado até a fratura em outra tensão. Este fenômeno conduzia a uma redução da vida em fadiga à tensão de ensaio. Por outro lado, se um corpo-e-prova era ensaiado abaixo do limite de fadiga, permanecendo sem se romper por um grande número de ciclos, sendo posteriormente ensaiado a uma tensão maior, era denominado de subtensionamento, que conduzia ao aumento no limite de fadiga ou no aumento do número de ciclos de tensão necessários para a ruptura, acima do esperado para corpos-de-prova virgens.

Em 1983, **DE FIORI**¹⁷ afirmou que a reabilitação com prótese parcial removível propunha a substituição dos dentes perdidos através de mecanismos retentivos e estabilizadores que permitiam ao próprio paciente, retirá-la e reposicioná-la na boca, sempre que achasse necessário, sem danificá-la ou causar prejuízos aos elementos biológicos a ela diretamente vinculados, porém algumas vezes sujeitos à deflexão. Isto decorria da elasticidade conferida aos grampos de retenção, que impediam que a prótese se movimentasse no sentido gângivo-oclusal e permitia sua retirada e reposicionamento. Segundo o autor, a quantidade de

retenção do dente pilar mostrava-se como uma variável dependente da distância de ação retentiva do grampo de retenção e do ângulo de retenção oferecido pela área retentiva do dente considerado. A distância de ação do grampo de retenção era dada pelo seu percurso ao deslizar sobre a superfície vestibular do dente pilar, desde o seu contato inicial até o seu posicionamento final. Esta distância apresentava duas partes: uma expulsiva (contato inicial até equador do dente) e outra retentiva (linha equatorial até o assentamento final). Segundo o autor, o ângulo de ação retentiva devia ser calculado e quando se apresentasse muito acentuado, devia ser utilizado grampos com grande elasticidade ou ser diminuído o grau de retentividade.

ERIKSSON *et al.*²¹, em 1983, avaliaram a influência do tratamento térmico endurecedor promovido pela soldagem na micro-estrutura e na dureza de três ligas de Co-Cr. Foram obtidas sete infra-estruturas de próteses parciais removíveis inferiores, com uma das seguintes ligas: Vitallium, Micronium Exclusiv e Wironit (extra dura), sendo as duas primeiras, fundidas com maçarico à oxigênio e acetileno e a última, por indução elétrica. Cada infra-estrutura foi seccionada em duas partes similares. Um fio de ouro de 1,15 mm de diâmetro por 15 mm de comprimento foi posteriormente fixado por soldagem em uma das secções. Após a união do fio, a infra-estrutura foi resfriada o mais rápido possível em água até temperatura ambiente. O lado da estrutura soldada, foi então submetida ao tratamento térmico endurecedor por meio de banho salino com 50% de nitrato de sódio e 50% de nitrato de potássio em cadinho de porcelana dentro de um forno elétrico. As amostras foram mantidas por 2 minutos a 450 ° C, sendo resfriadas lentamente no forno até atingir 250 ° C, seguido por resfriamento rápido. Este procedimento foi conduzido em 7 hemi-estruturas de cada liga. Os corpos-de-prova soldados e as hemi-estruturas controle foram, subseqüentemente, analisadas microscopicamente, sendo incluídas em resina, lixadas, polidas com pasta de diamante, atacadas com solução de ácido crômico a 2% e solução de permanganato alcalino e fotomicrografadas. Finalmente foi conduzido o teste de dureza Vickers,

fazendo 5 penetrações em cada corpo-de-prova, de acordo com a especificação número 14 da A.D.A.. Os autores concluíram que a quantidade de calor, soldagem e o tratamento térmico endurecedor dos grampos não influenciavam a micro-estrutura e a dureza de ligas de Co-Cr.

Em 1983, **HAWBOLT & MacENTEE**²⁹ verificaram os efeitos de fadiga sobre uniões soldadas, realizadas em liga de Ni-Cr. Utilizaram 60 hastes de 2 mm de diâmetro, fundidas com a liga Biobond de acordo com as recomendações do fabricante. Pares destas hastes foram alinhadas uni-axialmente, através de um dispositivo que as mantinham 0,3 mm distantes entre si. Para o procedimento de soldagem, utilizaram maçarico à oxigênio e acetileno e liga de solda à base de metais preciosos de baixa fusão. Após o resfriamento lento do conjunto, as extremidades das hastes foram submetidas ao teste de fadiga, sob carga de tração cíclica de 60 ciclos por minuto. Os corpos-de-prova foram então divididos em três grupos: grupo I - utilizando 45% do limite de escoamento; grupo II - 65% e grupo III - 80%. As superfícies fraturadas foram examinadas com microscópio eletrônico de varredura para determinação dos detalhes do processo de fratura. Os autores concluíram que as falhas das uniões soldadas mostraram uma alta significância quando submetidos à esforços cíclicos em relação às cargas estáticas. Concluíram também que uniões soldadas de boa qualidade podiam ser obtidas em ligas alternativas, utilizando liga de solda à base de ouro, suportando, inclusive, esforços de fadiga, similares às que ocorriam em condições clínicas. As forças mastigatórias, raramente excediam os 6,9 kg, ficando em torno de 1,6 kg, com 17,5 minutos diários de contato oclusal e taxa de 120 ciclos por dia. De acordo com os autores, uma solda de boa qualidade podia suportar $4,5 \times 10^6$ ciclos ou aproximadamente 117 anos de atividade, enquanto que uma solda ineficiente suportaria apenas 6 meses. Devido a estes fatores, sugeriram que as causas de fraturas eram devido a esforços elevados, porém, não frequentes.

Em 1983, **HAWBOLT *et al.***³⁰ avaliaram a resistência à tração e aparência microscópica de amostras de três ligas de metais básicos Ultratek (Ni-Cr-Be); Biobond (Ni-Cr) e Neobond II (Co-Cr), soldadas com ligas de alta e baixa fusões. Oito cilindros, medindo 20 mm de comprimento por 2 mm de diâmetro foram soldados pelas extremidades de modo a ser obtido um corpo-de-prova de cada uma das ligas, contendo, no mínimo seis áreas de soldas. Dois corpos-de-prova foram confeccionados utilizando liga de solda de alta fusão Willians e outros dois, com liga de baixa fusão. Durante o processo de soldagem, foi utilizado um dispositivo que mantinha as extremidades dos cilindros distantes 0,4 mm entre si, usando fundente e chama de oxigênio e acetileno. Após a soldagem, os corpos-de-prova foram deixados em temperatura ambiente até o completo resfriamento e o excesso de solda foi lentamente desgastado, até que o diâmetro de 2 mm do bastão cilíndrico fosse restabelecido. Para a avaliação dos efeitos da corrosão, um corpo-de-prova de cada combinação liga - liga de solda foi imerso em saliva artificial por 150 horas, enquanto outros foram armazenadas em meio ambiente, por igual período. Em seguida, os corpos-de-prova foram tracionados em máquina de teste universal Instron e as superfícies fraturadas examinadas em estereo-microscópio. Os autores concluíram que: 1) o meio corrosivo não afetava a resistência das ligas de solda, ambas apresentando resistência semelhante, tanto em saliva quanto em ar; 2) uniões de ligas de Co-Cr soldadas com ligas de alta e baixa fusão apresentaram resistência adequada; 3) ligas de alta temperatura apresentavam maior inclusão de óxidos e ligas de baixa temperatura, maior porosidade por aprisionamento de gases; e, 4) as ligas de Ni-Cr eram acabadas com maior facilidade e produziam uniões de melhor qualidade.

TOWNSEND *et al.*⁴⁸, em 1983, determinaram a resistência à tração de várias combinações de ligas e liga para solda. Utilizaram no estudo as ligas alternativas Unibond, Ceramalloy II, Biobond, Rexillum III e Biocast. Foram feitas fundições com formato de meia barra, utilizando revestimento fosfatado e fusão do

metal por indução elétrica. Tanto a eliminação de cera dos padrões, quanto as fundições, foram realizadas de acordo com as recomendações dos fabricantes. As fundições foram deixadas resfriar até a temperatura ambiente, sendo então, desincluídas. Os corpos-de-prova a serem soldados, foram acabados de modo que as extremidades permanecessem perpendiculares ao seu longo eixo e jateados com óxido de alumínio de 50 μm . As barras foram, então, alinhadas em um dispositivo e unidas com cera em bastão. Uma distância de 0,330 mm foi obtida entre as extremidades, através do uso de um espaçador. Os corpos-de-prova foram incluídos em revestimento para soldagem e a cera eliminada com água fervente. As ligas de solda utilizadas foram: Unibond (liga de alta fusão) e pasta fundente Ceramalloy (alta fusão), liga de solda de alta fusão Jeneric, Rx NNP pré-soldagem e Biobond NC pré-soldagem. Os corpos-de-prova incluídos foram pré-aquecidos em forno, cobertos com fundente e soldados com maçarico à gás e oxigênio. Cinco barras de cada liga foram soldadas com cada uma das ligas de solda citadas. Os corpos-de-prova foram usinados com um diâmetro uniforme e examinados quanto a ocorrência de falhas, anteriormente ao teste de tração em máquina de teste universal Instron. As barras foram, finalmente, examinadas em microscópio binocular de baixa potência. Os autores afirmaram que a alta variabilidade dos dados obtidos, inviabilizaram a análise estatística. Concluíram que, sob condições controladas de distância, inclusão e soldagem, mais de um terço das amostras falharam, muitas delas, durante a manipulação e antes mesmo de serem testadas. Concluíram também que havia necessidade de melhorar a aplicação de calor, controlar a oxidação e desenvolver novos métodos e materiais.

Em 1984, **NOORT & LAMB**³⁸ determinaram as causas de fraturas de próteses parciais removíveis, através da observação da micro-estrutura da superfície fraturada em microscopia eletrônica de varredura. Os autores avaliaram doze corpos-de-prova obtidos de estruturas de próteses parciais removíveis, com fraturas dos componentes da estrutura metálica. Os corpos-de-prova do metal fraturado

foram imersos em detergente por 24 horas, limpos ultrassonicamente, lavadas e secos em acetona para remoção de detritos. Os corpos-de-prova foram subsequenteiramente examinados sob microscópio eletrônico de varredura. Outros foram polidos metalurgicamente e examinados em microscopia óptica, antes e após ataque da superfície com 5 ml de peróxido de hidrogênio (30%) em 100 ml de ácido clorídrico concentrado, por poucos segundos, para revelar as micro-estruturas. Os autores concluíram que a micro-porosidade interdendrítica, devido à contração de fundição, era a principal causa de ocorrência de fraturas em próteses parciais removíveis.

BARAKAT & ASGAR⁵, em 1986, determinaram as propriedades mecânicas de algumas ligas à base de cobalto, assim como suas resistências relativas à soldagem pré e pós-aplicação de porcelana, utilizando maçarico e soldagem à vácuo. Utilizaram neste estudo 24 amostras de cada uma das seguintes ligas: DD 131, Novorex, Genesis, Dent-O-Bond e Neobond II. Os padrões em cera foram incluídos em revestimento fosfatado e colocados no forno a 700 °C por 3 horas. A injeção da liga fundida foi efetuada utilizando centrifuga e indução elétrica. Após as fundições, as amostras foram desincluídas e jateadas com areia. Doze corpos-de-prova foram tratados por aquecimento entre 650 a 980 °C por 5 vezes, simulando a queima da porcelana, e outros foram tratados na condição de estado bruto de fusão. Quatro corpos-de-prova foram submetidos ao tratamento, quatro não, e 16, foram utilizados nos testes de resistência pós-soldagem. Todas os corpos-de-prova foram adaptados à máquina de teste universal Instron para determinações de limite de escoamento, módulo de elasticidade e alongamento, além de serem submetidos ao teste de dureza Knoop. Os corpos-de-prova utilizados à soldagem foram incluídos em revestimento, seccionadas no centro com disco de carboneto de silício, que produzia uma distância de 0,3 mm entre as extremidades a serem soldadas por maçarico à oxigênio e gás ou técnica à vácuo, em forno com temperatura entre 1.315 e 980 °C. Para medida do coeficiente de expansão térmica,

foram utilizadas hastes de 30 mm de comprimento, variando a temperatura entre a do ambiente e 700 °C. Com a obtenção de todos os resultados, os autores puderam concluir que o tratamento térmico não afetava nenhuma propriedade física, com exceção do alongamento, que mostrava pouca variação. As uniões mais resistentes eram obtidas pela soldagem com maçarico e quando estas eram realizadas antes da aplicação da porcelana (pré-soldagem).

Em 1986, **BEN-UR et al.**¹⁰ descreveram as causas clínicas e laboratoriais de fraturas de infra-estruturas de próteses parciais removíveis à base de Co-Cr. Os autores afirmaram que as próteses removíveis poderiam fraturar por uma das seguintes causas: 1) propriedades mecânicas da liga de Co-Cr; 2) deficiência na execução da fase laboratorial; 3) desenho inadequado da infra-estrutura; 4) procedimentos inadequados executados pelo cirurgião-dentista; 5) falta de cuidado ou abuso do paciente; e, 6) fadiga do metal. Dentre as causas de fraturas provenientes das propriedades mecânicas da liga, os autores citaram o aumento da friabilidade causada pelo manganês e silício, utilizados como desoxidantes e pelo aumento no conteúdo de carbono, causado pela fonte de calor utilizada; diminuição da ductilidade devido ao aumento do conteúdo de carbono; e, diminuição no limite de fadiga causada por porosidades, ângulos agudos presentes na infra-estrutura, torções e tratamento térmico resultante de acabamento e polimento. Dentre as causas relacionadas com a deficiência de execução laboratorial, citaram as porosidades causadas por inclusão de gás oriundo de maçarico ou por contração de fundição em áreas espessas da infra-estrutura devido à insuficiência de metal, que reduziam drasticamente as propriedades mecânicas, induzindo as fraturas. Outras causas, tais como dimensões inadequadas dos grampos (relação largura/espessura de 2 mm ou mais, com comprimento de no mínimo 15 mm), ajustes realizados mecanicamente à frio pelo profissional e falta de cuidado por parte do paciente em colocar e remover a prótese, também seriam responsáveis pelas fraturas.

Em 1989, **ANGELINI et al.**³ determinaram a resistência à tração de ligas de Co-Cr soldadas. Para isto, confeccionaram corpos-de-prova cilíndricos de extremidades cônicas medindo 3 mm de diâmetro por 42 mm de comprimento, com três ligas comerciais à base de Co-Cr. Os corpos-de-prova foram seccionados em dois segmentos com um disco fino, posicionados num dispositivo que os mantinha a uma distância de 0,3 mm entre si e unidos com cera. Após 24 horas de inclusão em revestimento aglutinado por sulfato de cálcio, os segmentos foram soldados com maçarico à gás e ar, com cinco ligas para solda e onze combinações liga - liga para solda. Após a soldagem, os corpos-de-prova foram usinados até um diâmetro uniforme e tracionados na máquina de teste universal Instron. As superfícies fraturadas foram examinadas com microscópio eletrônico de varredura, equipado com micro-sonda de energia dispersiva. Os autores concluíram que quanto maior a temperatura de fusão da liga de solda, maior a resistência de união, para duas das três ligas de Co-Cr ensaiadas. Verificaram também que a maioria das falhas de união era coesiva, isto é, ocorriam na solda. O uso excessivo de fundente para se obter melhor escoamento da solda, era uma considerável fonte de defeitos na união soldada.

Em 1989, **CRAIG et al.**¹⁴ verificaram que as forças normais de mastigação estavam entre 3,1 e 12,9 kg. Para pacientes portadores de próteses parciais removíveis, o maior valor obtido era 23,5 kg e o menor 6,6 kg, com média de 11,5 kg. Verificaram que pacientes portadores de próteses fixas, registravam o equivalente a 37% da dentição natural, ocorrendo maior decréscimo em usuários de aparelhos removíveis. Os autores definiram fratura por fadiga como sendo devido à redução de resistência causada pela aplicação de esforço repetido. Como exemplo de materiais odontológicos sujeitos a esforços repetidos durante a mastigação, citaram os grampos de próteses parciais removíveis. Valores de resistência à fadiga pareciam não se relacionar com as propriedades mecânicas. O tamanho e a forma dos grãos na estrutura metálica eram provavelmente fatores importantes na resistência à fadiga, já que as fraturas desenvolviam-se a partir de pequenos defeitos

que cresciam através dos grãos. Em algumas ocasiões podia-se determinar a resistência à fadiga através da aplicação de esforços superiores ao limite proporcional do material, correspondendo ao efeito produzido pela inserção de uma prótese parcial removível. Verificaram que aplicações de esforços alternados de flexão, produzidos durante a mastigação podiam se aproximar de 300.000 por ano, enquanto que esforços maiores, como os necessários para inserção e remoção dos aparelhos protéticos, provavelmente eram inferiores a 1.500 por ano. Afirmaram que no desenho da restauração, era importante o conhecimento do esforço suportável para um número de ciclos não limitado, denominado limite de fadiga. Os grampos são posicionados em áreas de retenção e estão sujeitos a constantes deflexão e deformação elástica sob ação de cargas constantes durante a remoção e inserção quando da necessidade de limpeza. Quando o esforço era suficientemente alto, a estrutura iria fraturar com um número de ciclos limitado, ocorrendo o oposto na medida em que esforço reduzia-se, até um número infinito de ciclos antes da ocorrência de fratura. A prótese devia ser desenhada de maneira a tornar os esforços de fadiga inferiores ao limite de fadiga.

Em 1989, **GUSTAVSEN et al.**²⁴ determinaram a resistência à flexão da liga de Co-Cr Vitallium, antes e após serem submetidas a soldagem, utilizando dois tipos de ligas de solda. Fundiram 34 corpos-de-prova cilíndricos com 25 mm de comprimento por 2 mm de diâmetro, em laboratório de prótese dental, de acordo com técnicas recomendadas pelo fabricante da máquina de fundição de alta frequência Electromatic III Universal, utilizada no experimento. Os corpos-de-prova foram divididos aleatoriamente em três grupos: controle, ou sem solda; soldado com liga Vitallium; e, soldado com liga Bego. Os corpos-de-prova foram incluídos em revestimento, seccionados a 12 mm da extremidade, deixando um espaço de $0,5 \pm 0,05$ mm e soldados. Após a soldagem, foram desgastados até atingirem aproximadamente 1,7 mm de diâmetro, incluindo a parte soldada. Os corpos-de-prova foram montados com uma das extremidades presa a um dispositivo acoplado à

máquina de teste universal Instron, mantendo a porção soldada distante 1 mm do dispositivo. A força axial de compressão era aplicada na extremidade livre dos corpos-de-prova, a 10 mm do dispositivo fixador. Os autores concluíram que não havia diferenças estatisticamente significativas entre os grupos com e sem solda e entre os dois grupos soldados.

Segundo **ANDERSON et al.**² em 1990, aproximadamente 90% de todos os fracassos mecânicos são causados por fadiga. A fadiga é um modo de fratura que ocorre nos materiais após serem submetidos a repetidas cargas. As falhas por fadiga é iniciada por falhas microscópicas que desenvolvem-se em áreas onde ocorrem concentrações de tensões ou ao redor dessa área. Com o passar do tempo essas falhas tomam um tamanho crítico e falhas catastróficas ocorrem no material.

Em 1990, **CUCCI et al.**¹⁵ verificaram a fadiga de grampos de retenção de próteses parciais removíveis em função de três ligas comerciais à base de Co-Cr, três espessuras de grampos e duas técnicas de fusão. Utilizaram as ligas Biosil, Steldent e Duracrom, fundidas com maçarico à oxigênio e acetileno, com pressão de 1,9 e 0,7 kg/cm² respectivamente, e maçarico à oxigênio e gás, com pressões de 1,5 e 0,8 kg/cm² respectivamente. O maçarico à oxigênio e acetileno foi regulado de forma a ajustar os cones internos da chama em 0,3 cm, mantendo uma distância de 4,0 cm entre estes e o metal. O maçarico para oxigênio e gás foi regulado de forma que os cones internos apresentassem comprimento de 0,5 cm, mantendo uma distância de 1 a 1,5 cm entre a extremidade da chama e a superfície do metal para as ligas Steldent e Duracrom, e de 4 cm, para a liga Biosil. Para simular a inserção e remoção dos grampos, os corpos-de-prova foram adaptados a uma máquina de ensaio cíclico, regulada para 30 ciclos por minuto. Foram confeccionados cinco corpos-de-prova para cada liga e cada fonte de calor, variando as proporções entre largura e espessura de 1,7, 2,0 e 2,3. Os autores verificaram que a liga Duracrom obteve os melhores resultados em termos de número de ciclos, seguida pela liga

Biosil e Steldent. A menor espessura proporcionava maior número de ciclos. A utilização do maçarico à oxigênio e acetileno conduzia à elevação do número de ciclos.

Em 1990, **CUCCI et al.**¹⁶ verificaram a influência da interação entre ligas de Co-Cr, espessuras de grampos e técnicas de fusão, na fadiga de estruturas para próteses parciais removíveis. Utilizaram as ligas Steldent, Duracrom e Biosil, fundidas com maçaricos à oxigênio e acetileno ou oxigênio e gás. Foram confeccionados grampos do tipo "T" de Roach com diferentes espessuras. Para que as dimensões fossem constantes, utilizaram matrizes bi-partidas de gesso, uma para a lingual (apoio, grampo de oposição, conector menor, plano guia e barra) e três para a vestibular, nas seguintes proporções entre largura - sempre constante - e espessura: 1,7, 2,0, e, 2,3. Para a análise da fadiga, foi confeccionado um modelo padrão de um pré-molar superior esquerdo, preparado em delineador. Este modelo foi fixado em uma máquina de ensaios cíclicos. Através de um sensor, foram detectados o momento da ocorrência da fadiga e os números de ciclos necessários. Os autores concluíram que as amostras com relação maior (2,3), ou seja, que apresentavam espessura menor, alcançavam maior número de ciclos. Concluíram também que nas variáveis analisadas, as amostras confeccionadas com a liga Duracrom apresentavam um aumento no número de ciclos.

Em 1991, **GIAMPAOLO et al.**²² verificaram a interação dos fatores ligas de Co-Cr, comprimento de grampos de retenção e técnicas de fusão, na resistência à flexão de próteses parciais removíveis. Utilizaram uma máquina de ensaios simuladora de inserções e remoções de próteses parciais removíveis, contendo contador de ciclos, cilindro pneumático e sensor eletrônico. Um modelo padrão suporte em Co-Cr, obtido a partir de um pré-molar superior esquerdo, devidamente preparado e contendo nicho, área retentiva de 0,25 mm e planos guias, foi usado para avaliar grampos "T" de Roach, confeccionados em três comprimentos: 13, 15 e

17 mm. As ligas avaliadas foram Biosil, Steldent e Duracrom, fundidas com chamas à oxigênio e acetileno e oxigênio e gás. Os autores concluíram que as amostras que obtinham maior número de ciclos eram aquelas confeccionadas com a liga Duracrom, fundidas com maçarico à oxigênio e acetileno e na dimensão de 2 mm de largura, 1 mm de espessura e 15 mm de comprimento.

Em 1991, **GIAMPAOLO et al.**²³ avaliaram a resistência à flexão de grampos de retenção de próteses parciais removíveis, variando as dimensões dos grampos e a técnica de fusão. Utilizaram um modelo padrão de pré-molar superior esquerdo preparado como suporte. Foram confeccionados grampos com comprimentos de 13, 15 e 17 mm, com largura de 2 mm e espessura de 1 mm constantes. Utilizaram as ligas Duracrom, Biosil e Steldent e maçarico à oxigênio e gás ou oxigênio e acetileno. Os corpos-de-prova confeccionados foram ensaiados em uma máquina de cargas cíclicas. Os autores concluíram que os corpos-de-prova confeccionados com a liga Duracrom suportavam maior número de ciclos, talvez devido ao maior conteúdo de níquel presente nesta liga. O mesmo ocorria com os corpos-de-prova de 15 mm de comprimento e aqueles fundidos com maçarico à oxigênio e acetileno, neste último, o aumento no número de ciclos ocorria devido à formação de uma camada protetora de óxidos sobre o botão de fundição.

Em 1992, **CATTANEO et al.**¹³ compararam a resistência à tração, número de porosidades e tempo de duração do procedimento entre uniões soldadas utilizando a técnica convencional e energia infra-vermelha. Os autores dividiram os corpos-de-prova em três grupos distintos: o primeiro, contendo 10 corpos-de-prova, soldados pela técnica convencional, mediante a utilização de maçarico; o segundo, contendo outros 10 corpos-de-prova, soldados pela técnica de infra-vermelho; e, o terceiro, livre do procedimento de soldagem, como grupo controle. Os corpos-de-prova foram fundidos com liga de alto conteúdo de metais nobres, utilizadas para metalo-cerâmicas (SMG2) e seccionados com um disco de óxido de alumínio. As

porções seccionadas foram fixadas com resina acrílica, mantendo uma distância de 0,3 mm entre si e incluídas em revestimento. O bloco de revestimento foi posicionado em forno à temperatura ambiente, elevada lentamente até 926,6 °C. Para o procedimento de soldagem convencional foram utilizados fundente, liga de solda SMG2 e maçarico à oxigênio e gás e na soldagem por infra-vermelho, foram utilizados fundente e um aparelho de soldagem de energia infra-vermelha (Ney Co.), equipado com lâmpada de filamento de tungstênio de 100 watts. Após a soldagem, os corpos-de-prova foram resfriados por 5 minutos sobre uma bancada, seguido pelo resfriamento rápido em água. O excesso de liga de solda foi removido logo após a desinclusão e as dimensões foram aferidas por um paquímetro com precisão de 0,01 mm. Cada corpos-de-prova foi avaliado quanto a resistência à tração em uma máquina de ensaio universal Instron, regulada com velocidade de 2 mm por minuto, até a determinação da resistência máxima à tração. As superfícies de fratura e por corte longitudinal, foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura. Os autores verificaram que todas as fraturas na região soldada eram do tipo coesiva, ocorrendo no corpo da solda, sendo tanto do tipo friável quanto dúctil. Verificaram na superfície de corte longitudinal, uma linha divisória distinta entre liga e solda, indicando a não difusão entre as duas estruturas. Concluíram que não havia diferenças de resistência à tração entre as técnicas de soldagem convencional e por infra-vermelho, assim como em termos de porosidades nas uniões. A técnica por infra-vermelho possibilitava melhor controle de temperatura, embora o tempo fosse 2 a 3 minutos maior que a técnica convencional.

Em 1993, **TEHINI & STEIN**⁴⁷ realizaram uma análise comparativa entre técnicas de soldagem em ligas de ouro, utilizando maçarico à gás e energia infra-vermelha como fontes de calor. Os autores confeccionaram corpos-de-prova, obtidos a partir de hastes plásticas pré-fabricadas, das quais, vinte foram obtidas com a liga Eclipse, outras vinte com a liga Oro B2 e as demais, com Ney 76. Após as fundições, os corpos-de-prova foram resfriados à temperatura ambiente, desincluídos e limpos

manual e ultrassonicamente. Cada corpo-de-prova foi separado do conduto de alimentação correspondente e uma marca foi executada em sua porção central. Um dispositivo plástico foi utilizado como forma de uniformizar o alinhamento e a distância entre as porções seccionadas, sendo preenchido com revestimento especial para soldagem, manipulado de acordo com as instruções do fabricante. O conjunto foi deixado sob bancada por no mínimo 1 hora, até que o dispositivo foi removido, sendo a amostra, seccionada junto a marca previamente realizada. Todas as uniões foram tratadas com fundente como meio de redução de oxidação e porosidade. O conjunto incluído foi posicionado em forno a temperatura ambiente, sofrendo aquecimento até 426,6 °C. As ligas e a liga de solda foram as mesmas para ambos os procedimentos avaliados. A técnica infra-vermelha requereu, além do posicionamento prévio da liga de solda à aplicação de calor, que o foco para aplicação de energia fosse pré-determinado, possibilitando ação única sobre o metal a ser soldado e não sobre a liga de solda. Após a soldagem, o conjunto foi resfriado à temperatura ambiente por pelo menos 1 hora, o corpo-de-prova foram desincluídos e limpos manual e ultrassonicamente. Um dispositivo especial foi encerado e fundido, permitindo sustentação às amostras e encaixe em máquina de teste universal Instron, desenvolvendo ensaio de três pontos. Os autores verificaram que para as ligas Oro B2 e Ney 76, apesar da técnica infra-vermelha ter parecido mais efetiva que a técnica de utilização de maçarico à gás, nenhuma conclusão definitiva podia ser tirada, devido ao grande número de amostras com uniões ineficientes e sem valor estatístico. Verificaram também a não existência de diferenças estatisticamente significativas entre ambas as técnicas avaliadas. Uma alta variabilidade foi constatada nos resultados. A técnica de utilização de energia infra-vermelha apresentava vantagem no controle de temperatura, procedimento de difícil condução com maçarico. Não foram verificadas fraturas adesivas na interface liga de solda - metal soldado, quando energia infra-vermelha foi utilizada, indicando umedecimento e adesão satisfatórios. A análise da fratura mostrou lacunas nas uniões, variando de 20 a 100 µm, porém sem diferenças quantitativas entre as técnicas avaliadas.

Em 1997, **HENRIQUES et al.**³¹, avaliaram a resistência à fadiga das ligas do sistema Co-Cr (Steldent, Dentorium e Biosil), utilizadas na condição de novas e refundidas, submetidas ou não ao procedimento de soldagem convencional. Para cada uma das ligas avaliadas, quarenta corpos-de-prova cilíndricos com diâmetro de 1,7 mm foram obtidos por fundição odontológica, utilizando maçarico à oxigênio e acetileno. Vinte corpos-de-prova foram obtidos com a liga nova e outros vinte pela mistura de partes iguais de liga nova e liga previamente fundida. O procedimento de soldagem foi realizado em vinte corpos-de-prova de cada uma das ligas, dez novas e dez refundidas. No processo, foi utilizada liga de solda à base de Co-Cr, fundida por meio de maçarico à oxigênio e gás (G.L.P.). Um dispositivo de acrílico foi utilizado como relacionador para a realização da soldagem. Um espaçador de 0,3 mm de espessura foi interposto entre as extremidades dos corpos-de-prova a serem soldados, os quais foram usinados para obtenção de geometria cônica (ponta de lápis). O ensaio de resistência à fadiga foi conduzido numa máquina de cargas cíclicas AMSLER regulada com carregamento constante de tração de 1 Kg, com os corpos-de-prova solicitadas à flexão por ciclo oscilatório de 2º para cada lado. Após a fratura, o número de ciclos era registrado e a superfície de fratura analisada sob microscopia eletrônica de varredura. Os autores verificaram que: 1 – Na condição de novas, a liga Biosil mostrou-se superior estatisticamente às ligas Steldent e Dentorium, as quais foram semelhantes estatisticamente entre si; 2 – Para as três ligas ensaiadas na condição de novas, os corpos-de-prova submetidos ao procedimento de soldagem foram estatisticamente semelhantes e inferiores aos livres de solda; 3 – Quando refundidas, a liga Steldent foi semelhante estatisticamente às ligas Dentorium e Biosil, a qual mostrou superioridade estatística em relação à liga dentorium; 4 – Para as três ligas ensaiadas na condição refundidas, os corpos-de-prova submetidos ao procedimento de soldagem foram estatisticamente semelhantes e inferiores aos livres de solda; 5 – Não houve diferenças estatisticamente significativas entre os corpos-de-prova obtidos pela fusão de partes iguais de liga nova e liga refundida e aqueles oriundos exclusivamente de liga nova, soldadas ou não; 6 – Uma alta variabilidade foi observada nos resultados para as ligas submetidas ou não ao procedimento de soldagem.

5 – PROPOSIÇÃO

5 – PROPOSIÇÃO

Os trabalhos relacionados na Revisão Bibliográfica mostram que os resultados obtidos nos procedimentos de soldagem em infra-estrutura de Co-Cr são conflitantes. Devido a substancial importância desse procedimento propusemo-nos a:

Avaliar a resistência à fadiga, através do ensaio de flexão, de ligas à base de Co-Cr, segundo a geometria da porção soldada, nas variáveis:

- 1 – Tipo ponta de lápis;
- 2 – Tipo topo a topo; e,
- 3 – Tipo chanfro de 30°.

6 – MATERIAIS E MÉTODO

6 – MATERIAIS E MÉTODO

6.1 – MATERIAIS

Utilizamos neste estudo os seguintes materiais, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Descrição dos materiais que foram utilizados no estudo.

MATERIAIS	FABRICANTE	COMPOSIÇÃO QUÍMICA* (%)
Liga metálica Co-Cr – Modellgub - Degussa	Degussa A.G. Dental Division, Alemanha	Co:63,14 / Cr:28 / Mo:5 / Outros:< 5
Liga metálica Cobalto e Cromo – Dentorium	Dentorium International - USA **	Segredo industrial
Liga metálica para solda – Dentorium	Dentorium International – USA **	Segredo industrial
Revestimento Precise	Dentsply Ind. E Com. Ltda.	Segredo comercial

* Informações do fabricante

** Distribuída no Brasil por Labor Dental Ltda.

6.2 – MÉTODO

6.2.1 – Confeção dos padrões e inclusão em revestimento

Hastes metálicas cilíndricas em aço inoxidável com 2 mm de diâmetro por 65 mm de comprimento foram utilizados neste estudo. Em uma das extremidades foi efetuado um acabamento com formato cônico tipo ponta de lápis, a fim de facilitar a remoção do revestimento cristalizado³¹.

As hastes metálicas foram adaptadas num bloco cilíndrico de cera utilidade (Wilson – Polidental Indústria e Comércio Ltda), com 20 mm de altura por 25

mm de diâmetro, previamente fixado numa placa de vidro. A extremidade plana da haste foi fixada no bloco de cera ficando 45 mm da haste fora do bloco, enquanto a parte cônica num disco de cera nº 9 (Wilson – polidental Indústria de Comércio Ltda), com 20 mm de diâmetro por 1,5 mm de espessura. Bastões de cera (Cerafix – Cerafix Indústria e Comércio de Artigos Odontológicos Ltda), com 1,5 mm de espessura por 20 mm de comprimento curvados em direção ao bloco de cera utilidade foram fixados, promovendo ventilação para escape dos gases do bloco de revestimento, no momento da injeção da liga liquefeita. Sete hastes metálicas foram acopladas em cada bloco de cera (Figura 1).

Em seguida, o bloco de cera com as hastes foi adaptado no interior de um anel de PVC, com 50 mm de diâmetro interno, 2 mm de espessura por 80 mm de comprimento, seccionado longitudinalmente, para não confinar a expansão de presa do revestimento (Figura 1).

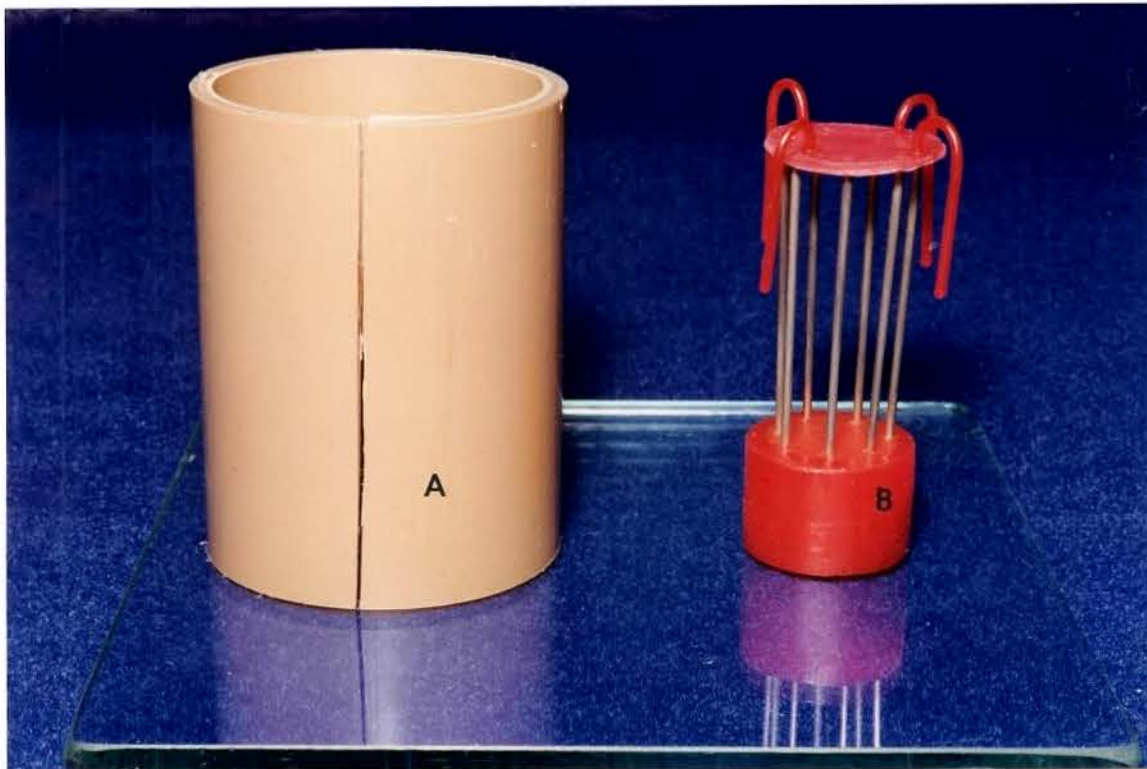


Figura 1 – A – Anel para inclusão; B – Bloco de cera com hastes metálicas

A parte interna do anel de PVC foi isolada com vaselina sólida. Posteriormente, o revestimento (Precise – Dentsply Indústria de Comércio Ltda) foi proporcionado de acordo com as recomendações do fabricante, isto é, 300 gramas de pó para 51ml de líquido, e espatulado mecanicamente à vácuo por 30 segundos em inclusor elétrico (Polidental – Polidental Indústria e Comércio Ltda)¹. Imediatamente após a manipulação, o revestimento foi vertido sob vibração no interior do anel e deixado sobre a bancada em temperatura ambiente por 1 hora. Em seguida, o anel foi removido e o bloco permaneceu por mais 23 horas em temperatura ambiente até a completa cristalização e desidratação do revestimento.

6.2.2 – Fundição e desinclusão dos corpos-de-prova

Decorridas 24 horas, o bloco de revestimento foi imerso em água à temperatura ambiente por 10 minutos, de acordo com as recomendações do fabricante. Em seguida, o bloco de revestimento com a base formadora do cadinho voltada para baixo e o cadinho para fundição foram colocados num forno elétrico Bravac (Bravac Indústria Eletromecânica), em temperatura ambiente⁴⁶. A temperatura do forno foi elevada lentamente até atingir 400° C, durante 60 minutos. Nesta temperatura, as hastes metálicas foram removidas do interior do anel e sua posição foi invertida, ficando a base formadora do cadinho voltada para cima. A temperatura do forno foi elevada até 870° C durante 60 minutos. Atingido esse tempo, o bloco de revestimento permaneceu por mais 45 minutos nessa temperatura.

Para a fusão das ligas foi utilizada uma fonte de calor oxigênio e acetileno (White Martins – White Martins Indústria e Comércio Ltda)^{11,15,16,21,22,23,25,26,27,28,44,45,46} e maçarico equipado com extensão tipo multi-chama nº 70 (White Martins – White Martins Indústria e Comércio Ltda). A pressão de saída do oxigênio foi regulada para 5 Kg/cm² e do acetileno, para 1,0 Kg/cm², conforme recomendação do fabricante das ligas. A combustão da mistura oxigênio-acetileno foi

devidamente regulada, até a obtenção da chama redutora com aproximadamente 10 mm de comprimento, situando-se a aproximadamente 10 cm de distância do cadinho^{25,27}

Antes da fusão da liga, o cadinho foi removido do forno e posicionado na centrífuga V.H. (V.H. Equipamentos), previamente calibrada com 4 voltas. Um total de 44 gramas de liga foi utilizado para fundir cada bloco de revestimento. Após a completa fusão da liga, o bloco de revestimento foi posicionado na centrífuga e a liga foi injetada dentro do bloco. Quando cessava a movimentação do braço da centrífuga, o bloco de revestimento era removido e deixado sobre a bancada em temperatura ambiente por 15 minutos. Em seguida, foi imerso em água à temperatura ambiente até o completo resfriamento²⁵.

Em seguida, o bloco de revestimento foi fraturado manualmente e a parte metálica removida. Os corpos-de-prova foram separados da base e do sistema de ventilação com um disco de carboneto de silício de 0,3 mm de espessura (Separating Disk – Dentorium International – USA), adaptado num motor de alta rotação de bancada Nevoni (Nevoni Equipamentos Odontológicos Médico Hospitalares) com velocidade de 16.000 rpm. As amostras foram limpas por raspagem com instrumento cortante manual e ultra som Thornton (Thornton Ltda), com solução de água/detergente doméstico, na proporção de 20/1 em volume, por 10 minutos e jateados com óxido de alumínio 50 µm, num jateador (Trijato – Odonto Lancon Ltda). Um total de 40 corpos-de-prova foram confeccionados para cada tipo de liga.

6.2.3 – Usinagem e polimento dos corpos-de-prova

Após a limpeza, 3 mm de uma das extremidades do corpo-de-prova foi fixado à placa de um torno mecânico (TR-600 Riosulense), enquanto a outra foi introduzida 2 mm num dispositivo fixo no carro móvel do torno, contendo um orifício

de 2 mm de diâmetro interno, com orientação centralizada em relação ao eixo de rotação, possibilitando ajustes no comprimento dos corpos-de-prova. Ao carro móvel do torno, foi adaptado um motor elétrico de bancada Dentec (C.S. 421 – Dentec Indústria e Comércio Ltda), alinhado perpendicularmente ao eixo de rotação dos corpos-de-prova. O desgaste foi obtido pelo movimento concomitante do torno e do motor de bancada, permitindo que as pontas montadas abrasivas (Abrasivos Piranha - Schelble Ltda) percorressem toda a extensão livre dos corpos-de-prova, através da movimentação longitudinal do carro do torno. Na usinagem dos corpos-de-prova, as dimensões foram constantemente aferidas por paquímetro, com precisão de 0,01 mm, até a obtenção do diâmetro de 1,8 mm.

Após a usinagem, os corpos-de-prova foram submetidos ao polimento com borracha abrasiva de coloração verde para acabamento de ligas de cromo (Rubber Point – Dentorium International – USA). Ao término da usinagem e polimento, os corpos-de-prova apresentavam 1,7 mm de diâmetro. Cada um deles foi inspecionado visualmente para verificação de eventuais defeitos superficiais. Os corpos-de-prova com defeitos superficiais foram descartados.

6.2.4 – Seccionamento e usinagem das extremidades dos corpos-de-prova

Logo após a usinagem e polimento, 60 corpos-de-prova foram seccionados a 18 mm de uma das extremidades com um disco de carboneto de silício de 0,3 mm de espessura (Separating Disk – Dentorium International – USA), com auxílio de um micromotor elétrico Dentec (C.S. 421 – Dentec Indústria e Comércio Ltda), acoplado ao torno de Bancada: 20 corpos-de-prova em preparo tipo chanfro de 30° e 40 corpos-de-prova em preparo tipo topo a topo. Vinte corpos-de-prova não sofreram seccionamento (controle) (Figura 2).

As porções seccionadas em topo a topo de 20 corpos-de-prova foram fixadas no torno mecânico e o motor elétrico (C.S. 421 – Dentec Indústria e Comércio Ltda) foi devidamente ajustado, para uma inclinação de 30° em relação ao eixo de rotação das porções seccionadas dos corpos-de-prova, com intenção de promover com uma pedra montada de acabamento de ligas de cromo (Abrasivos Piranha – Schelble Ltda) um biselamento na extremidade livre dos corpos-de-prova, conferindo-lhe geometria cônica, tipo ponta de lápis (Figura 2). Os outros vinte corpos-de-prova e os seccionados em chanfro de 30° foram submetidos ao acabamento com lixas de papel (Norton) 280, 400 e 600.

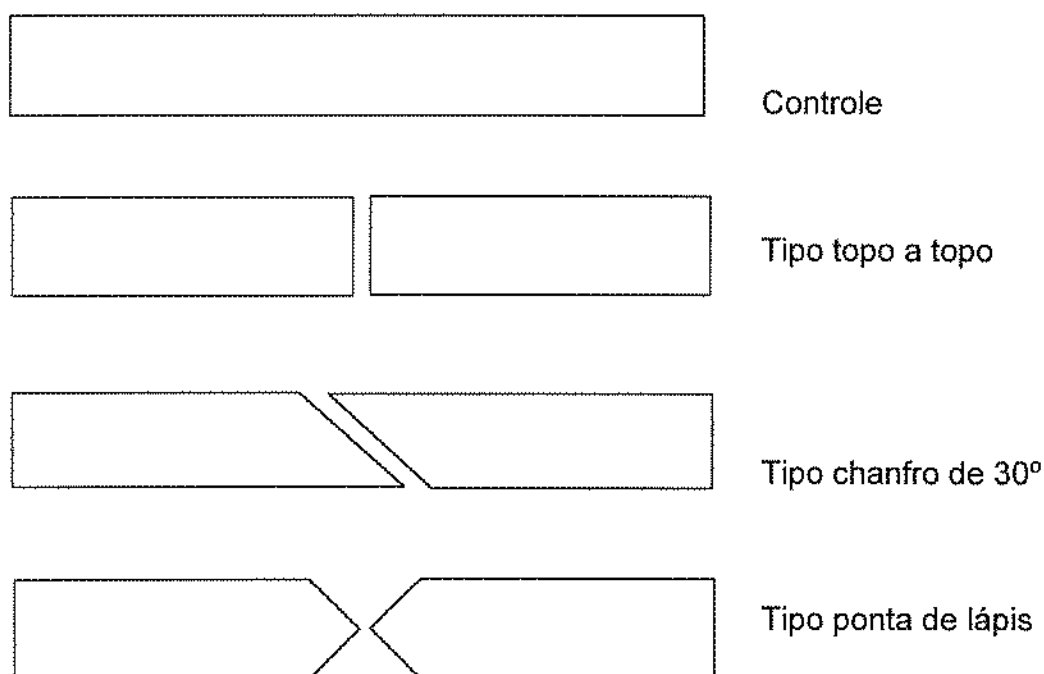


Figura 2 – Esquema dos tipos de preparo das extremidades dos corpos-de-prova para soldagem e controle.

6.2.5 – Relacionamento dos corpos-de-prova e inclusão

Após o acabamento, as extremidades dos corpos-de-prova foram posicionadas em um dispositivo acrílico relacionador³¹. Tal dispositivo possuía duas

porções distintas: superior e inferior. A porção inferior apresentava um sulco fresado de aproximadamente 1,5 mm de diâmetro, onde os corpos-de-prova foram apoiados, com a intenção de alinhar as duas porções uni-axialmente. A porção superior plana fixava-se sobre a inferior com parafusos e porcas para promover completa apreensão das porções seccionadas. Um orifício de 8 mm de diâmetro localizado na junção da porção superior com a inferior do dispositivo, atravessava-o horizontalmente e transversalmente, permitindo acesso às extremidades seccionadas dos corpos-de-prova (Figura 3).

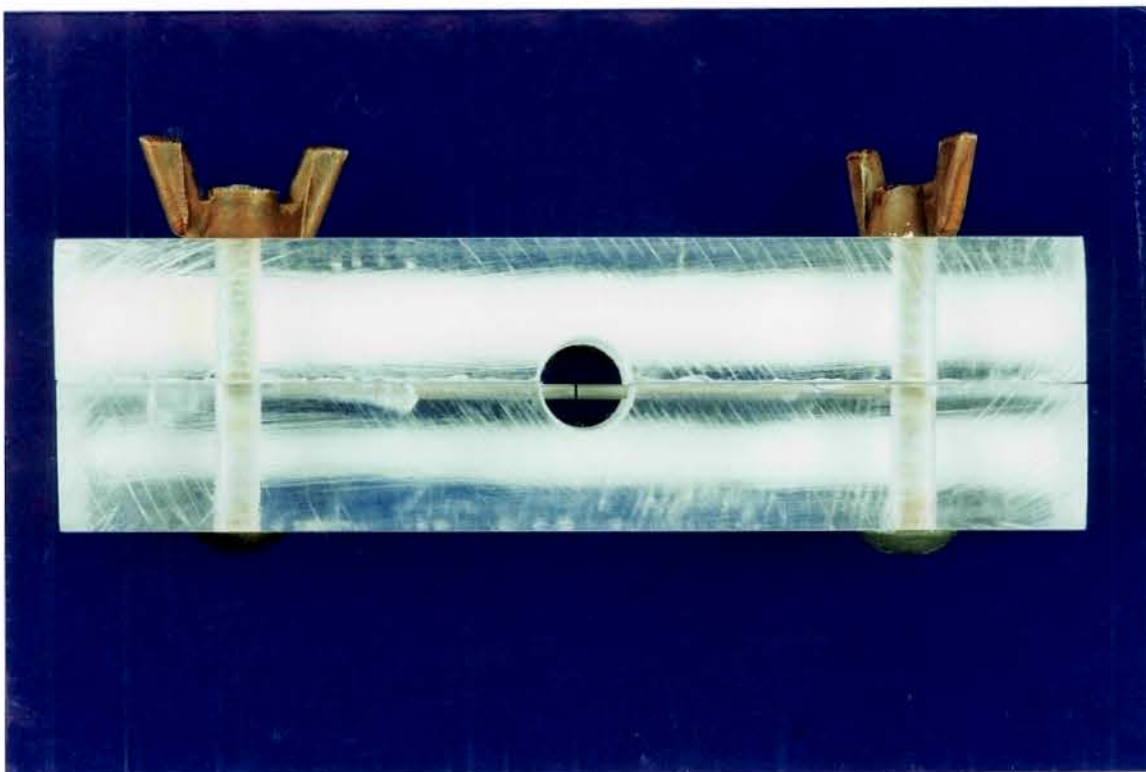


Figura 3 – Dispositivo acrílico relacionador para soldagem

Um espaçador de alumínio com 0,3 mm de espessura foi interposto entre as porções a serem soldadas, mantendo um espaço padronizado em todos os corpos-de-prova ^{3,5,13,29,31}. Em seguida, a porção superior do dispositivo foi fixada por meio dos parafusos, o espaçador retirado e as extremidades seccionadas unidas com cera nº 9 (Wilson – Polidental Indústria e Comércio Ltda), inserida com uma espátula metálica nº 7, pelo orifício de acesso do dispositivo, restabelecendo as

dimensões prévias. Após inserção da cera a porção superior do dispositivo foi retirada e o corpo-de-prova removido.

Em seguida, os corpos-de-prova foram incluídos em revestimento. Foram utilizadas como matrizes moldes plásticos com 60 mm de comprimento por 20 mm de largura isolados com vaselina sólida e vedadas com cera utilidade nas extremidades. O molde foi preenchido com revestimento Precise (Dentsply Indústria e Comércio Ltda), na proporção de 30 gramas de pó para 5,1 ml de água destilada em substituição aos líquido específico, conforme preconizado pelo fabricante da liga. O revestimento foi espatulado mecanicamente à vácuo por 60 segundos num espatulador Polidental (Polidental Indústria e Comércio Ltda). Os corpos-de-prova ficaram parcialmente ímersos no revestimento, de modo a permitir que a região coberta com cera utilidade a serem soldados, não fossem incluídos em revestimento (Figura 4). O conjunto permaneceu a temperatura ambiente por 12 horas, até a completa desidratação do revestimento.

6.2.6 – Procedimento de soldagem e usinagem

Após o período de 12 horas de armazenagem, o bloco de revestimento foi aquecido com maçarico convencional à gás (G.L.P. – gás liquefeito de petróleo) e ar, até a completa volatilização da cera utilidade. Em seguida, o bloco foi colocado num forno elétrico Bravac (Bravac Indústria Eletromecânica) a 450° C, por 15 minutos. Após o aquecimento, o bloco foi removido e resfriado lentamente até a temperatura ambiente, conforme instruções do fabricante da liga de solda. Posteriormente, a área de união a ser soldada foi jateada com óxido de alumínio com partículas de 50 µm num jateador (Trijato – odonto larcon Ltda).

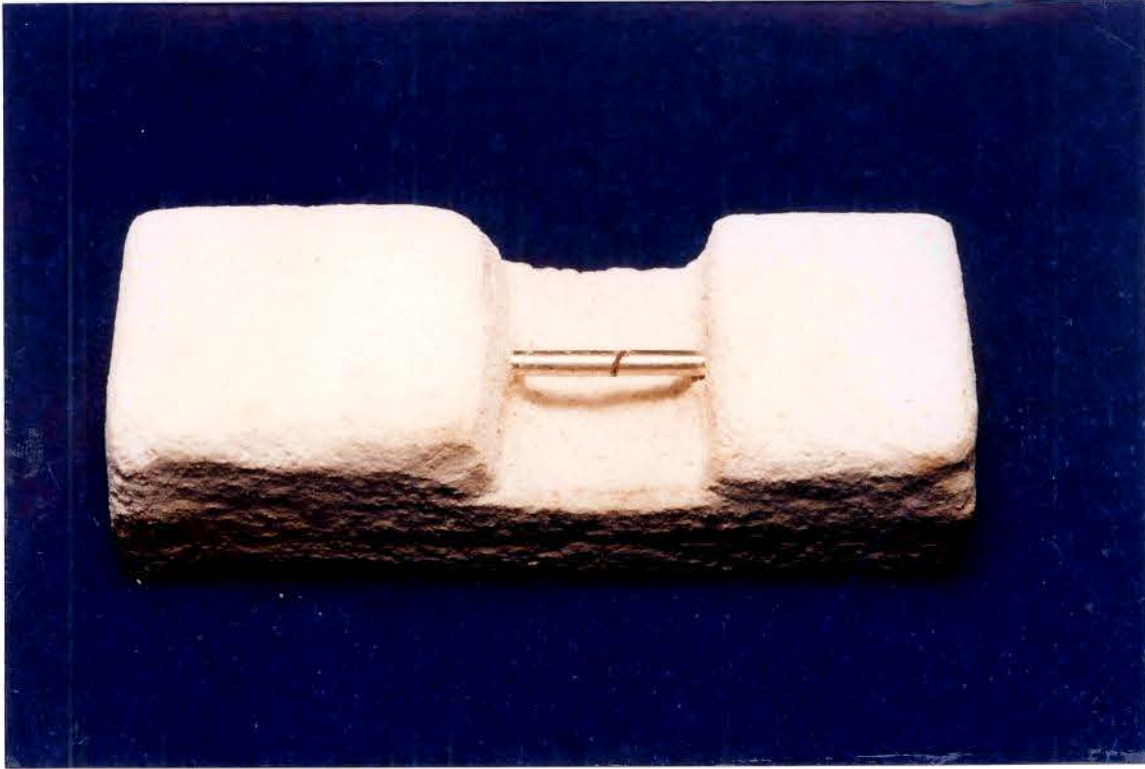


Figura 4 – Bloco de revestimento para soldagem e corpo-de-prova

Em seguida, conforme recomendações do fabricante da liga de solda, a haste da solda (Dentorium International – Ltda – USA) foi aquecida com um maçarico (Drager do Brasil Ltda) à gás (G.L.P. – gás liquefeito de petróleo) e oxigênio, equipado com extensão para soldagem nº 1 (Drager do Brasil Ltda) ^{5,13,48} permitindo a obtenção de um cone de 20 mm de comprimento até atingir uma coloração laranja fosca, quando foi imediatamente imersa no fundente (pasta de ácido bórico e fluoreto de sódio, dissolvidos em água destilada). As partes a serem unidas foram aquecidas até a obtenção da coloração vermelho brilhante. Em seguida, a vareta de solda presa por uma pinça metálica foi posicionada no local, sem que a chama fosse removida. A chama foi removida a partir do momento em que a liga de solda fluísse pelas extremidades dos corpos-de-prova.

Após o resfriamento do conjunto a temperatura ambiente, os corpos-de-prova foram desincluídos e a área soldada novamente jateada com óxido de alumínio 50 μm . Cada corpo-de-prova foi inspecionado a fim de verificar se ocorreu alguma

deficiência de soldagem da área de união, sendo descartados os corpos-de-prova com deficiências.

Posteriormente, os corpos-de-prova foram fixados num torno mecânico de bancada, equipado com pedra montada abrasiva, alinhada perpendicularmente, a fim de que o excesso de solda fosse removido e o diâmetro original do corpo-de-prova fosse restabelecido. Em seguida, foi feito o polimento com borracha abrasiva para acabamento de ligas de cromo, conforme já descrito (item 6.2.3).

6.2.7 – Ensaio de resistência à fadiga

Antes do ensaio de resistência à fadiga, 5 mm das extremidades, correspondente às porções dos corpos-de-prova utilizados para a fixação ao torno durante os procedimentos de usinagem e polimento, foram seccionados com disco de carboneto de silício e descartadas.

Os corpos-de-prova foram submetidos ao ensaio de resistência à fadiga numa máquina de carga cíclica AMSLER (Alfred J. Amstler & Co. – Shaffhausen – Schaweis – Switzerland) calibrada com carregamento constante de tração de 1 Kg³¹. Uma das extremidades do corpo-de-prova foi presa ao mordente fixo superior da máquina e a outra, ao mordente oscilatório inferior (Figura 5). Os corpos-de-prova foram submetidos à flexão através de ciclo oscilatório de 2º para cada lado. O número total de ciclos de fratura dos corpos-de-prova foram registrados no dispositivo contador da máquina. Em seguida, o número de ciclos foi anotado e a região fraturada foi analisada em microscopia eletrônica de varredura.

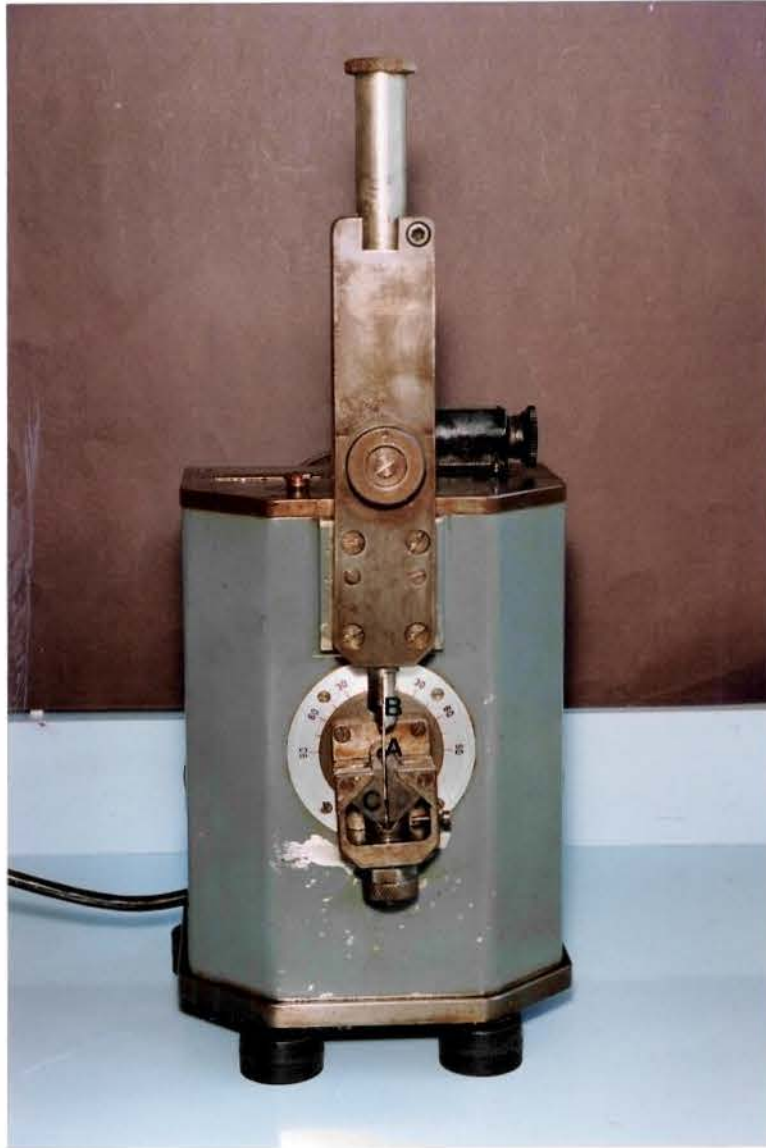


Figura 5 – Máquina de ensaios cíclicos: A – Corpo-de-prova; B – Mordente fixo superior; e, C – Mordente oscilatório inferior.

6.2.8 – Análise da Superfície Fraturada em Microscopia Eletrônica de Varredura

Logo após a realização do ensaio de resistência à fadiga a superfície fraturada foi observada em microscopia eletrônica de varredura (Carl Zeiss DSM 940 A, Germany)^{3,13}, com o objetivo de examinar a morfologia da região fraturada.

Após a obtenção dos dados, os resultados foram submetidos à Análise de Variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5%.

7 – RESULTADOS

7 – RESULTADOS

Os valores originais da resistência à fadiga (em números de ciclos), das ligas metálicas Dentorium e Degussa, submetidas ou não ao procedimento de soldagem, para os diferentes tipos de preparo e controle (sem solda) foram submetidos a análise de variância e ao teste estatístico de Tukey em nível de 5% e estão apresentados na Tabelas 4 (Apêndice). Os valores médios obtidos a partir do teste estatístico estão apresentados nas Tabelas 2 e 3 e Figuras 6 e 7.

As médias da resistência à fadiga, em números de ciclos, para os três tipos de preparos geométricos (com solda e controle) das ligas metálicas foram: Degussa – controle (sem solda) 7245 (879,2); chanfro de 30° 6268 (834,9); ponta de lápis 3465 (789,7); e, topo a topo 2373 (337,9); Dentorium – controle (sem solda) 9105 (993,8); chanfro de 30° 5939 (384,2); ponta de lápis 5661 (775,7) ; e, topo a topo 3079 (488,6). A resistência à fadiga para o controle (sem solda) da liga Dentorium foi significativamente superior aos três tipos de preparo (com solda) ($p < 0,05$). O preparo em chanfro de 30° apresentou valores estatisticamente superiores ao preparo topo a topo ($p < 0,05$). Nenhuma diferença estatística foi encontrada entre o tipo de preparo em chanfro de 30° e ponta de lápis, e entre o ponta de lápis e topo a topo (Tabela 2 e Figura 6).

Para a liga Degussa, o controle foi estatisticamente superior aos preparos tipos ponta de lápis e topo a topo (com solda) ($p < 0,05$). Nenhuma diferença estatística foi encontrada quando o controle (sem solda) foi comparado com o tipo de preparo em chanfro de 30° (com solda), e o preparo em ponta de lápis com o topo a topo (Tabela 2 e Figura 6).

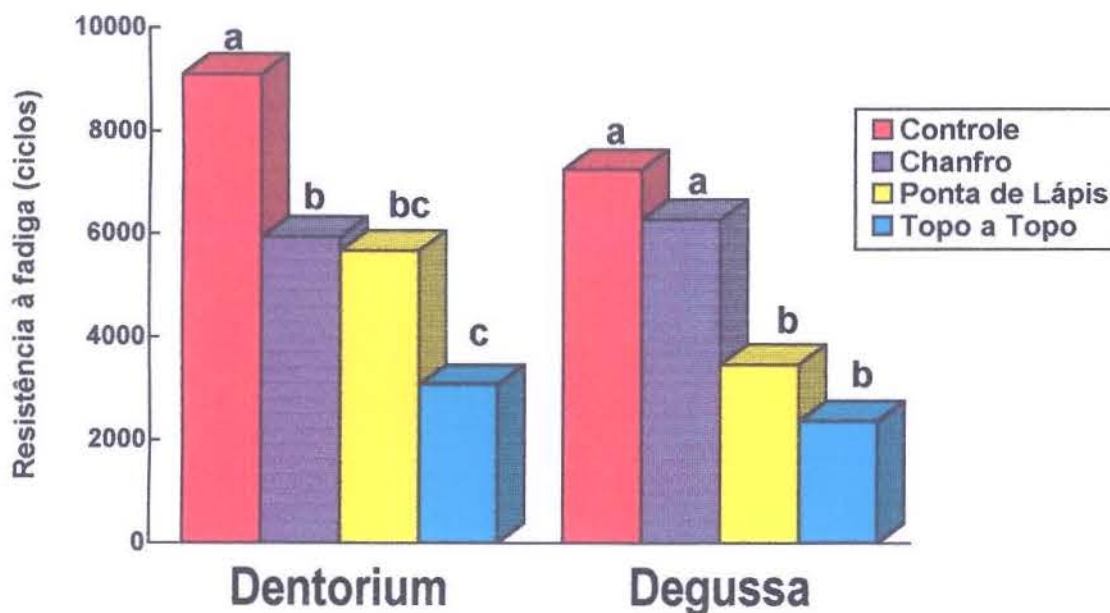
A Tabela 3 e a Figura 7 mostram a comparação (em números de ciclos) entre as ligas metálicas Dentorium e Degussa em cada tipo de preparo (com solda e controle). Controle – Dentorium 9105 (993,8) e Degussa 7245 (879,2); topo a topo – Dentorium 3079 (488,6) e Degussa 2373 (337,9); chanfro de 30° - Dentorium 5939 (384,2) e Degussa 6268 (834,9); ponta de lápis – Dentorium 5661 (775,7) e Degussa 3465 (789,7). A resistência à fadiga (em números de ciclos) da liga Dentorium foi estatisticamente superior em relação a liga Degussa, para o tipo de preparo em ponta de lápis e controle ($p < 0,05$). Apesar da liga Dentorium apresentar valores numéricos maiores do que a liga Degussa para o tipo de preparo topo a topo e a liga Degussa maior valor numérico do que a liga Dentorium para o preparo em chanfro 30°, nenhuma diferença estatística foi encontrada.

Tabela 2 – Valores médios da resistência à fadiga para os três diferentes tipos de preparos para soldagem e controle (sem solda) das ligas metálicas Dentorium e Degussa, em números de ciclos.

Tipo de Preparo	Ligas Metálicas			
	Dentorium	D.P.*	Degussa	D.P.*
Controle	9105 a	993,8	7245 a	879,2
Chanfro de 30°	5939 b	384,2	6268 a	834,9
Ponta de lápis	5661 bc	775,7	3465 b	789,7
Topo a topo	3079 c	488,6	2373 b	337,9

* Desvio Padrão - D.M.S. 5% = 2040,02352

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.



Barras seguidas por letras distintas dentro do fator liga metálica, diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

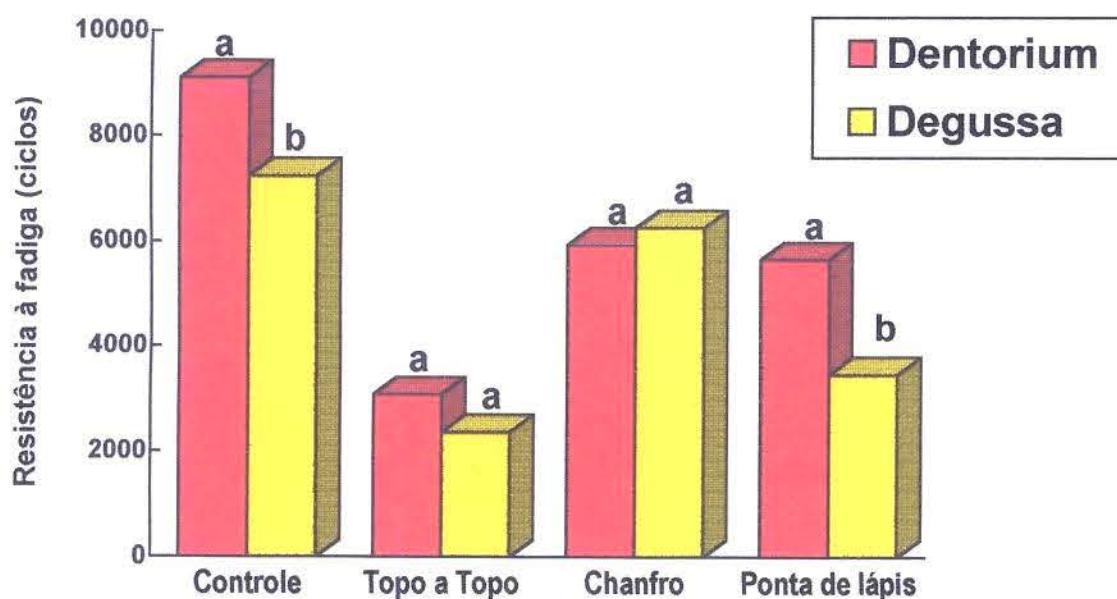
Figura 6- Ilustração gráfica dos valores médios de resistência à fadiga para os três diferentes tipos de preparos para soldagem e controle (sem solda) das ligas metálicas Dentorium e Degussa, em números de ciclos.

Tabela 3 – Valores médios da resistência à fadiga das ligas metálicas Degussa e Dentorium, submetidas ou não ao procedimento de soldagem em números de ciclos.

Ligas Metálicas	Tipo de Preparo							
	Controle	D.P.*	Topo-Topo	D.P.*	Chanfro	D.P.*	Lápis	D.P.*
Dentorium	9105 a	993,8	3079 a	488,6	5939 a	384,2	5661 a	775,7
Degussa	7245 b	879,2	2373 a	337,9	6268 a	834,9	3465 b	789,7

* Desvio Padrão - D.M.S. 5% = 2693.75669

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.



Barras seguidas por letras distintas dentro do fator tipo de preparo, diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

Figura 7- Ilustração gráfica dos valores médios da resistência à fadiga das ligas metálicas Degussa e Dentorium, submetidas ou não ao procedimento de soldagem em números de ciclos.

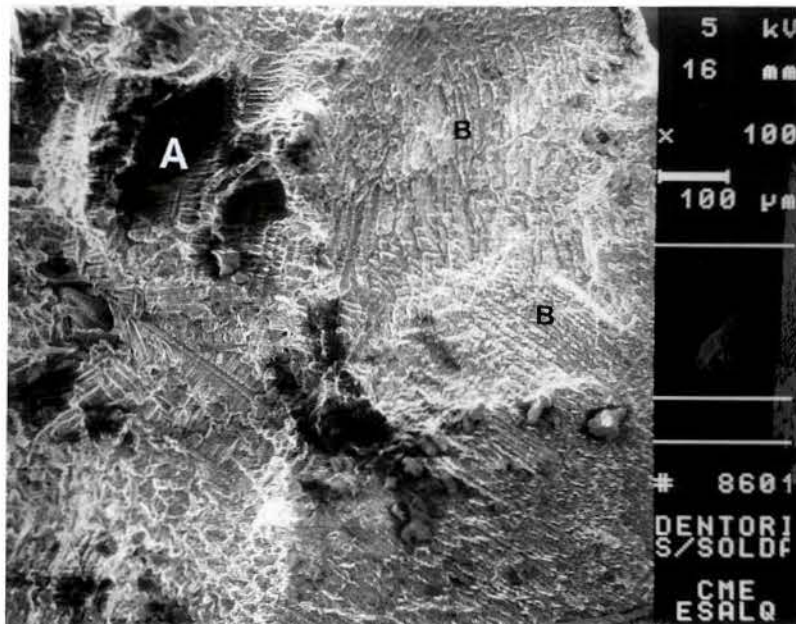


Figura 8 – Imagem (M.E.V.) da superfície da liga Dentorium controle (sem solda) após o teste de fadiga, com aumento de 100 X.

A – Poros provenientes da fundição;

B – Estrias proporcionadas pelo ensaio de fadiga.

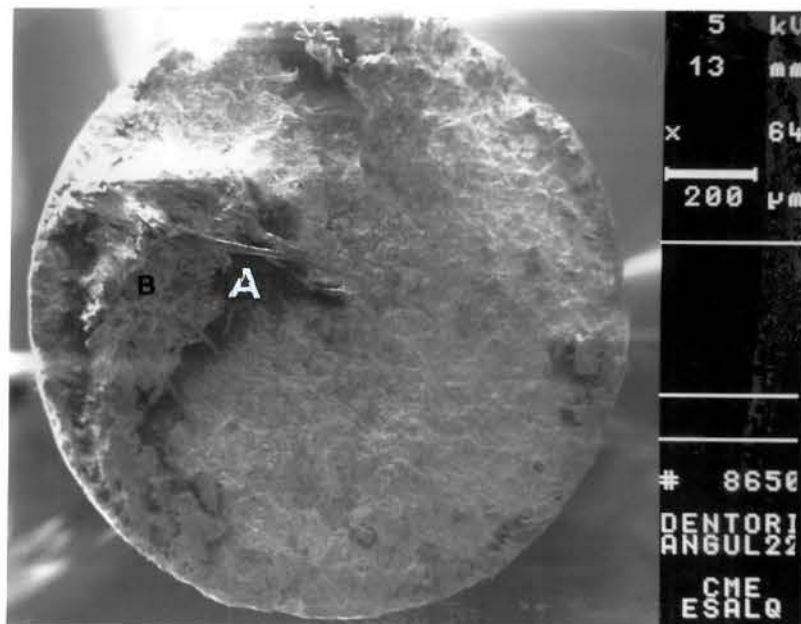


Figura 9 – Imagem (M.E.V.) da superfície da liga Dentorium, com solda em chanfro de 30° após o teste de fadiga, com aumento de 64 X.

A – Fendas produzidas durante o ensaio de fadiga;

B – Região de fratura dúctil pela diminuição da secção transversa.

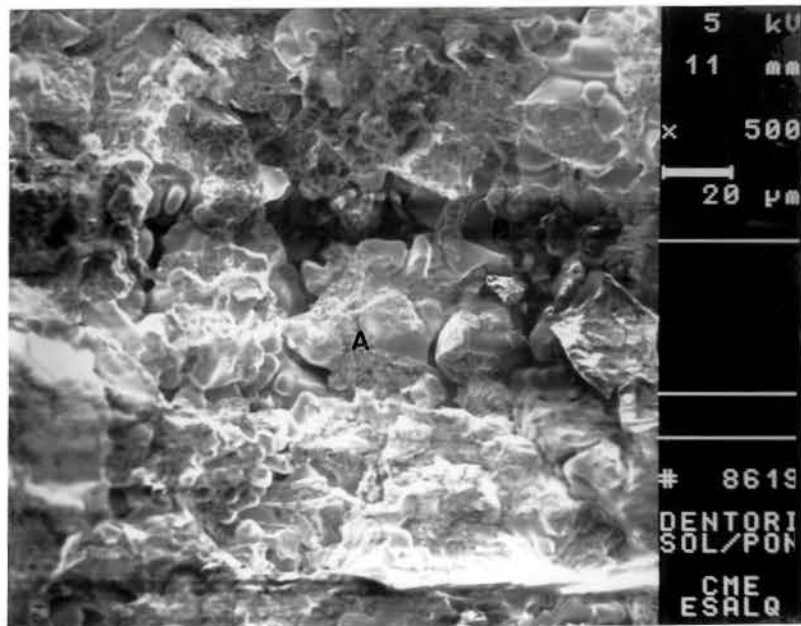


Figura 10 – Imagem (M.E.V.) da superfície da liga Dentorium, com solda ponta de lápis, após o teste de fadiga, com aumento de 500 X.

A – Superfície irregular da solda;

B – Posidade provenientes da fundição.

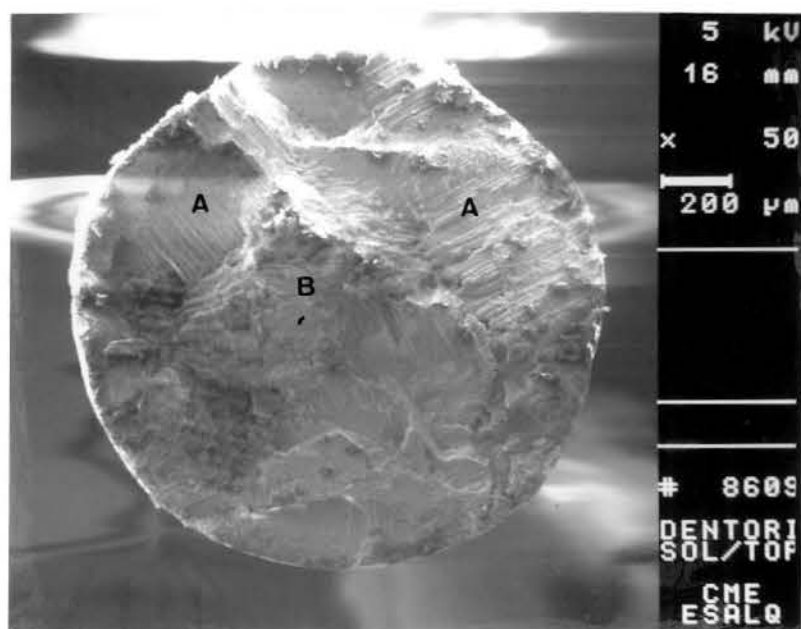


Figura 11 – Imagem (M.E.V.) da superfície da liga Dentorium, com solda topo a topo, após o teste de fadiga, com aumento de 50 X.

A – Aspecto dendrítico do material soldado;

B – Região de fratura dúctil pela diminuição da secção transversa.

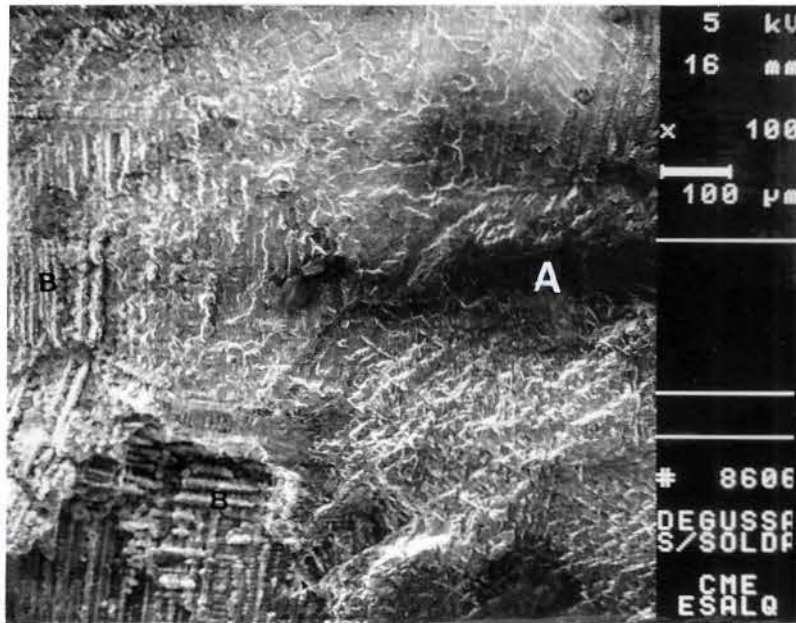


Figura 12 – Imagem (M.E.V.) da superfície da liga Degussa, controle (sem solda), após o teste de fadiga, com aumento de 100 X.

A – Poros produzidos durante a fundição;

B – Aspecto dendrítico do material.

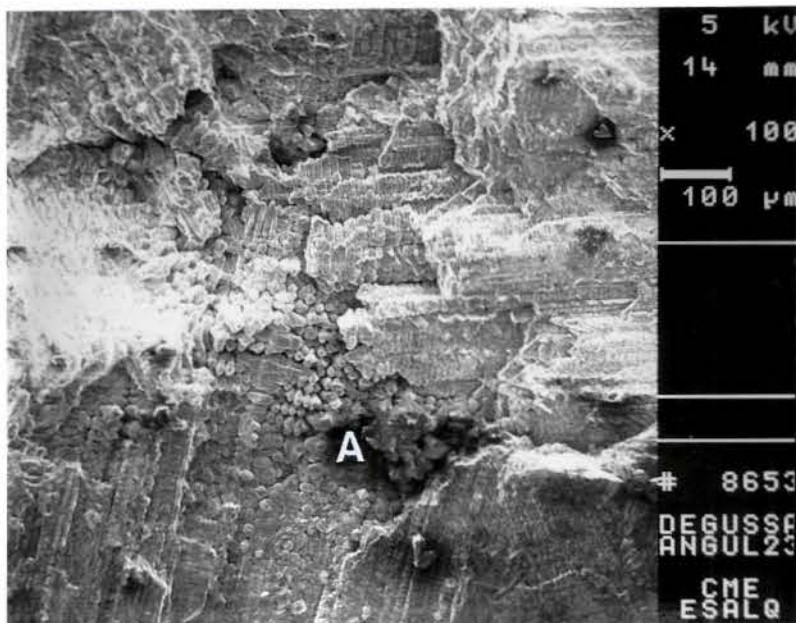


Figura 13 – Imagem (M.E.V.) da superfície da liga Degussa com solda em chanfro de 30° após o teste de fadiga, com aumento de 100x. Fratura aos 7500 ciclos.

A – Poros produzidos durante o procedimento de fundição.

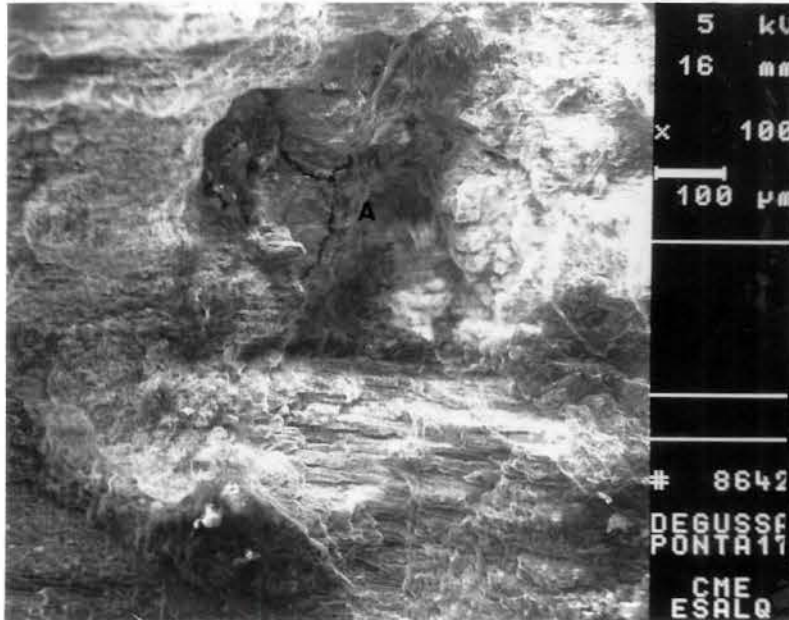


Figura 14 - Imagem (M.E.V.) da superfície da liga Degussa, com solda ponta de lápis, após o teste de fadiga, com aumento de 100 X.

A – Fenda produzida durante o processo de fundição.

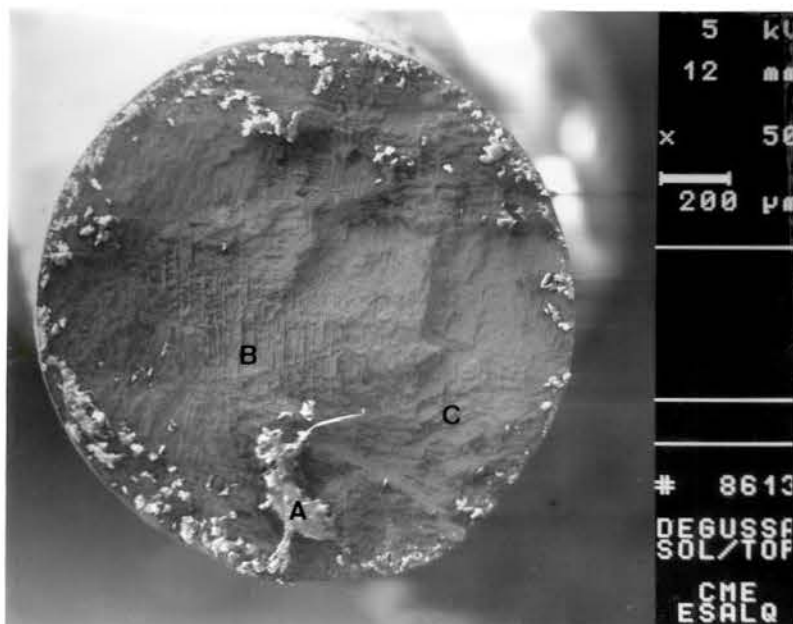


Figura 15 – Imagem (M.E.V.) da superfície da liga Degussa, com solda topo a topo, após o teste de fadiga, com aumento de 50 X.

A – Resíduo de solda;

B – Aspecto dendrítico do metal soldado;

C – Estrias proporcionadas pelo ensaio de fadiga.

8 – DISCUSSÃO

8 – DISCUSSÃO

A estrutura de uma prótese parcial removível pode sofrer deformação elástica, devido a ação de cargas constantes sobre a sua estrutura. A estrutura pode sofrer falhas em consequência do trabalho mecânico, produzido pelas flexões sucessivas. Os grampos de retenção de próteses parciais removíveis, geralmente posicionados em áreas com retenção, estão sujeitos a constantes deflexão (fadiga) e deformação elástica sob ação de cargas constantes, e pela remoção e inserção quando da necessidade de limpeza^{14,17}. A tensão elástica desenvolvida durante o movimento pode estar concentrado em determinadas áreas resultando fratura³⁴. O processo de fadiga ocorre devido a ação de uma carga ciclica atuando continuamente sobre uma determinada área, até ocorrer a falha do material. Segundo ANDERSON et al.², estima-se que 90% de todas as falhas mecânicas são provocadas por fadiga.

A fim de evitar que diferenças abruptas na espessura e no espaço entre as porções a serem soldadas pudessem influenciar no resultado final do ensaio, alguns cuidados foram tomados. Primeiramente, os corpos-de-prova foram fixados num dispositivo relacionador para soldagem³¹. Um espaçador de 0,3 mm foi utilizado para padronizar o espaço à ser soldado, semelhante ao empregado por outros pesquisadores^{3,5,13,29,31}. Para evitar que espessuras diferentes fossem produzidas nos corpos-de-prova após o processo de fundição e soldagem, os mesmos foram submetidos ao acabamento e polimento após o processo de fundição³¹, ficando os corpos-de-prova com uma espessura constante de 1,7 mm de diâmetro.

Observamos neste estudo (Tabela 2 e Figura 6), que o ensaio sem solda (controle) da liga Dentorium apresentou resultados estatísticos superiores em relação aos outros três tipos de preparo (com solda) ($p < 0,05$). O preparo em chanfro de 30° foi estatisticamente superior ao preparo topo a topo ($p < 0,05$). Nenhuma diferença estatística foi encontrada entre o preparo em chanfro de 30° e ponta de lápis, e ponta de lápis e topo a topo (com solda). Para a liga Degussa, o controle (sem solda)

apresentou valores estatisticamente superiores em relação ao tipo de preparo ponta de lápis e topo a topo (com solda) ($p < 0,05$). Nenhuma diferença estatística foi encontrada entre o controle e o preparo em chanfro de 30° (com solda) e o preparo ponta de lápis com o topo a topo.

Foi observado na (Tabela 3 e Figura 7), que a liga Dentorium foi estatisticamente superior em relação a Degussa, para o tipo de preparo em ponta de lápis e controle ($p < 0,05$). Nenhuma diferença estatística foi observada em relação ao tipo de preparo topo a topo e chanfro de 30° .

Os resultados obtidos em nosso estudo para a liga Degussa controle (sem solda) e chanfro de 30° (com solda) concordam com os resultados obtidos por GUSTAVSEN et al.²⁴, que observaram não ocorrer diferenças estatisticamente significantes entre os corpos-de-prova confeccionados com ligas de Co-Cr sem solda e soldadas. Porém, quando se compara a liga Degussa controle (sem solda) com os outros dois tipos de preparos com solda, e a liga Dentorium controle sem solda com os outros três tipos de preparos com solda, os dados discordam dos resultados obtidos por HAWBOLT & MacENTEE²⁹, quando relataram que regiões soldadas com ligas alternativas de alta fusão poderiam resistir até à esforços de fadiga, e por HAWBOLT et al.³⁰, que encontraram resistências adequadas em uniões de ligas de Co-Cr soldadas com ligas de alta e baixa fusão. Nossos estudos também diferem dos obtidos por HENRIQUES et al.³¹, para a liga Dentorium, com e sem solda. Os resultados obtidos por este autor foram inferiores aos nossos, e pode ter ocorrido, segundo colocações do autor, devido ao grande números de poros ou inclusões produzidas durante o processo de fundição dos corpos-de-prova, ou durante o procedimento de soldagem (ponta de lápis).

Observamos também em nosso estudo, uma alta variabilidade (Desvio Padrão) nos resultados para as áreas soldadas e sem solda. Resultados semelhantes também foram encontrados por outros pesquisadores^{31,47,48}.

As diferenças nos valores numéricos entre os três tipos de preparo para a liga Dentorium, entre ponta de lápis e com topo a topo para a liga Degussa, podem

estar em função das descontinuidades topográficas promovidas pelo incompleto umedecimento das extremidades pela solda liquefeita. A falta de umedecimento pode atuar em determinados pontos como um local de concentração de tensão, diminuindo a resistência da região soldada, como verificado por RASMUSSEN et al.⁴¹

De acordo com a análise das fotomicrografias por microscopia eletrônica de varredura da superfície de fratura dos corpos-de-prova (Figuras 8 a 15), observa-se a desorganização das ligas de solda em relação às estruturas dendríticas das ligas de Co-Cr.

Normalmente o processo de fadiga inicia-se na superfície do material que está sendo submetido ao esforço por flexão, principalmente em regiões onde ocorre a presença de falhas^{18,43}. Essas falhas tornam-se pontos de concentração de tensão principalmente em regiões onde não houve um completo umedecimento pela solda, ou seja, pela presença de poros. A porosidade (Figuras 8, 10, 12 e 13), no interior da estrutura soldada é devida a inclusão de impurezas, como partículas de fundente, presentes no momento em que é realizada a soldagem ou devido ao aprisionamento de gases, promovendo a formação de poros. Esses fatores vão diminuir a resistência mecânica das ligas^{3,4,8,35,41}.

Segundo LAUTENSCHLAGER et al.³³, as regiões soldadas apresentam uma maior quantidade de poros, sendo que estes podem agir como fator de início das trincas. Procuramos em nosso estudo usinar a região soldada com o propósito de deixar o corpo-de-prova com a sua dimensão original; porém, imperceptíveis alterações podem ter sido proporcionadas neste ato, o que comprovaria as informações desses autores.

Por outro lado, de acordo com CARTER & KIDD¹² e MORRIS et al.³⁵, o excessivo aquecimento do metal durante a realização da soldagem pode resultar na diminuição da resistência mecânica da liga, assim como também o posicionamento da chama²⁷ e o tipo de chama^{44,45,46}.

De acordo com a Figura 8, observa-se na estrutura a presença de estrias, provenientes do ensaio de fadiga. Segundo HENRIQUES et. al.³¹, as tensões que podem ocasionar o fenômeno de fadiga mostrado nas Figuras 9 e 11 são as tensões alternadas (máxima e mínima); tensões flutuantes (máxima e mínima diferentes); e, tensões de sobrecargas periódicas imprevisíveis. Em ciclos de tensões alternadas, as tensões podem ser inferiores ou superiores ao limite de escoamento do material ensaiado, sendo denominados ensaio de fadiga de alto ou baixo ciclo, respectivamente. Utilizamos nesse estudo ciclos de tensões alternadas inferiores, bem próximo do limite de escoamento do material, semelhante ao utilizado por HENRIQUES et al.³¹. Além disso, observa-se uma região de fratura dúctil nas Figuras 9 e 11, tal fato ocorre devido a diminuição da seção transversa do material provocado pelas tensões decorrentes do processo de fadiga. Em nossos resultados obtivemos um número maior de ciclos para a liga Dentorium com e sem solda superiores ao obtido por HENRIQUES et al.³¹, que realizou polimento eletrolítico sobre o metal após o polimento mecânico (borracha abrasiva). De acordo com CRAIG et al.¹⁴, o número de ciclos durante a remoção e inserção das próteses parciais removíveis em um ano são inferiores a 1500 ciclos, isto faz-nos supor que, de acordo com os resultados obtidos em nosso estudo, os aparelhos teriam uma vida clínica superior a 2 ou 3 anos com as ligas submetidas a soldagem e 5 a 7 anos com as ligas sem solda.

De acordo com o exposto, fica evidente que o processo de soldagem provoca uma diminuição na resistência da estrutura metálica. Além disso, em nosso estudo usamos uma dimensão constante para os corpos-de-prova, diferente do que normalmente ocorre, diariamente, onde as peças com grampos são confeccionados com dimensões diferentes, a fim de adaptar adequadamente na estrutura dentária. Devido a necessidade de adaptação adequada dos grampos, os mesmos são compostos basicamente por partes finas e espessas. Durante a utilização dessa prótese parcial removível, a mesma estaria sujeita à forças de flexão (fadiga), assim como, no momento da remoção e inserção da estrutura, diminuindo

consideravelmente a sua resistência, até ocorrer à fratura, fato semelhante ao encontrado por outros pesquisadores^{6,7,9,26,34}.

O mais adequado seria que os grampos fossem confeccionados com forma geométrica adequada sem grandes variações na espessura, evitando com isso, que ocorressem deformações permanentes durante o uso, com perda de estabilidade e retenção da peça, em função do material ter excedido o seu limite de escoamento. Além disso, não fazer ajustes a frio nas estruturas, a fim de melhorar a sua adaptação, evitando acelerar a perda da estrutura, pois a solicitação para a promoção da deformação plástica desejada excederia o limite de escoamento do material. O processo de soldagem deveria ser empregado como um artifício temporário para o profissional, até que uma nova estrutura fosse confeccionada, apesar de alguns resultados serem adequados para determinados tipos de preparo para solda e ligas.

Por outro lado, futuras pesquisas poderiam ser realizadas variando-se a espessura dos corpos-de-prova, submetendo os mesmos ao processo de soldagem, e posteriormente ao ensaio de fadiga.

9 – CONCLUSÃO

9 – CONCLUSÃO

Após realizarmos a análise dos resultados, podemos emitir as seguintes conclusões:

1 – A soldagem reduziu a resistência à fadiga das ligas estudadas, com exceção do preparo em chanfro de 30° para a liga Degussa que foi considerado estatisticamente igual ao grupo controle (sem solda).

2 – Para a liga Dentorium, o grupo controle (sem solda) foi estatisticamente superior aos três tipos de preparo (com solda) ($p < 0,05$). O preparo em chanfro de 30° foi estatisticamente superior ao topo a topo ($p < 0,05$). Nenhuma diferença estatística foi encontrada entre o preparo em chanfro de 30° e ponta de lápis, e entre ponta de lápis e topo a topo;

3 – Para a liga Degussa, os preparos tipo ponta de lápis e topo a topo (com solda) mostraram valores de resistência à fadiga estatisticamente semelhantes entre si, porém, estatisticamente inferiores ao controle (sem solda) e preparo em chanfro de 30°. Nenhuma diferença estatística foi encontrada entre o controle e o preparo em chanfro de 30°;

4 - A liga Dentorium apresentou valores de resistência à fadiga estatisticamente superior à liga Degussa, para o controle (sem solda) e quando a solda foi efetuada no preparo tipo ponta de lápis ($p < 0,05$). Nenhuma diferença estatística foi observada para os tipos de preparos em chanfro de 30° e topo a topo.

10 – SUMMARY

10 – SUMMARY

The purpose of this study was to investigate the fatigue strength of the system Co-Cr (Dentorium and Degussa), submitted or not to the procedure conventional soldering.

Cylindrical eighty specimens with 1,7 mm in diameter were casted utilizing oxi-acetilene torch for each alloys kind. The soldering procedure was realized in sixty specimens of each alloy and twenty were control. the soldering were obtained by Co-Cr welding rods and gas-oxygen torch. the solder gap selected was 0.3 mm for each prepared (top to top, chamfer 30° and pencil point). The fatigue strength was conducted in a AMSLER (alfred J. Amsler & Co. – Shaffhausen – Schaweis – Switzerland) fatigue testing machine and the specimens were subjected to a tensile load of 1 kg, and a cyclic stress amplitude of 2°. After failure, the cycles were registered and the fracture surface was examined with (S.E.M.). The results were statistically analysed using a Mann-Whitney.

The results of this study indicated that: 1 – For the Dentorium alloy the three types of prepare (with solder) presented values of strength statistically similar to each other but inferior statistically than control (without solder); 2 – For the Degussa alloy, the type of prepared pencil point and top to top (with solder) showed the similar results statistically, but inferior statistically to the control (without solder) in chamfer of 30°. No statistical difference was found between the control and prepared in chamfer of 30°; 3 – The Dentorium alloy presented resistance values of fatigue superior statistically the degussa alloy, when it solder was made in prepare pencil point. No statistical difference was observed for the control and ty pes of prepared in chamfer 30° and top to top.

Keywords – 1 – Alloys; 2 - Solder; 3 – Fatigue; 4 – Removable Partial Dentures

11 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

11 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS*

01. ALLAN, F.C., ASGAR, K. Reaction of cobalt-chromium casting alloy with investment. **J. dent. Res.**, Chicago, v.45, n.5, p.1516-1528, Sept./Oct. 1966.
02. ANDERSON, J.C., LEAVER, K.D. RAWLINGS, R.D., *et al.* **Materials science**. 4. ed. London: Chapman and Hall, 1990 p.214.
03. ANGELINI, E. *et al.* Corrosion resistance of solder joints for removable partial dentures. **Dent. Mater.**, Washington, v.4, n.5, p.255-260, Jan.1989.
04. ASGAR,K., PEYTON, F.A. Effect of microstructure on the physical properties of cobalt-base alloys. **J. dent. Res.**, Chicago, v.40, n.1, p.63-72, Jan./Feb. 1961.
05. BARAKAT, M.M., ASGAR, K. Mechanical properties and soldering of some cobalt base metal alloys. **Dent. Mater.**, Washington, v.2, n.6, p.272-274, Dec. 1986.
06. BATES, J.F. Cast clasps for partial dentures. **Int. dent. J.**, London, v.13, n.4, p.610-614, Oct./Dec. 1963.
07. _____. The mechanical properties of the cobalt chromium alloys and their relation to partial denture design. **Br. dent. J.**, London, v.119, n.2, p.389-396, Nov. 1965.
08. _____. Studies related to the fracture of partial dentures. The flexural fatigue of cobalt-chromium alloy. **Br. dent. J.**, London, v.118, n.15, p.532-537, June, 1965.
09. _____. Studies related to the fracture of partial dentures. The functional strain in cobalt-chromium dentures-a preliminary report. **Br. dent. J.**, London, v.120, n.18, p.79-83, Jan. 1966.

* De acordo com a NBR 6023 de agosto de 1989 da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Abreviaturas de Periódicos: "World List of Science Periodicals".

10. BEN-UR, Z. *et al.* The fracture of cobalt-chromium alloy removable partial dentures. **Quintess. int.**, Berlin, v.17, n.12, p.797-801, Dec. 1986.
11. BERGMAN, M., HOLMLUND, L., SOREMARK, R. Some properties of two dental cobalt-chromium alloys. **Odont. Revy**, Malmo, v.25, n.2, p.179-188, Apr./Jun., 1974.
12. CARTER, T.J., KIDD, J.N. The precision casting of cobalt-chromium alloy. Part 1 – The influence of casting variables on dimensions and finish. **Br. dent. J.**, London, v.118, n.4, p.383-390, May, 1965.
13. CATTANEO, G. *et al.* Comparison of tensile strength of solder joints by infrared and conventional technique. **J. prosth. Dent.**, St. Louis, v.68, n.1, p. 33-37, July, 1992.
14. CRAIG, R.G. *et al.*, ed. Mechanical properties. In: _____, ed. **Restorative dental materials**. 8.ed. St. Louis: C.V. Mosby, 1989. cap. 4, p.65-112.
15. CUCCI, A.L.M. *et al.* Fadiga de grampos de retenção em prótese parcial removível. Efeito de ligas, espessuras e técnicas de fusão. Parte I. **Revta Odont. Unesp**, São Paulo, v.19, p.245-250, jan./dez.1990.
16. _____. *et al.* Fadiga de grampos de retenção em prótese parcial removível. Efeito de ligas, espessuras e técnicas de fusão. Parte II. **Revta Odont. Unesp**, São Paulo, v.19, p.251-258, jan./dez.1990.
17. DE FIORI, S.R. Biomecânica de inserção e retirada das próteses parciais removíveis. In: _____. **Atlas de prótese parcial removível**. São Paulo: Panamed, 1983. cap.2, p.49-74.
18. DIETER, G. E. Fadiga dos metais. In: _____. **Metalurgia mecânica**. 2.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1981. cap.12, p.345-384.
19. EARNSHAW, R. The casting shrinkage of cobalt-chromium alloys. **Aust. dent. J.**, Sydney, v.3, n.3, p.159-170, June, 1958.
20. _____. Fatigue tests on a dental cobalt-chromium alloy. **Br. dent. J.**, London, v.110, n.16, p.341-346, May, 1961.

21. ERIKSSON, T., SJOGREN, G., BERGMAN, M. Influence of supply of heat to cobalt-chromium frameworks during soldering and subsequent hardening heat treatment of wrought clasps. **Swed. dent. J.**, Stockholm, v.7, n.1, p.33-37, Jan./Feb. 1983.
22. GIAMPAOLO, E.T. et al. Análise da resistência à flexão de grampos de retenção em prótese parcial removível. Efeito da interação grampos, ligas e técnicas de fusão. **Revta Odont. Unesp**, São Paulo, v.20, p.285-292, jan./dez. 1991.
23. _____. Grampos de retenção para prótese parcial removível. Análise da resistência à flexão em função de grampos, ligas e técnicas de fusão. **Revta Odont. Unesp**, São Paulo, v.20, p.293-298, jan./dez., 1991.
24. GUSTAVSEN, F., BERGE, M., HEGDAHL, T. Flexural strength of a high-temperature soldered cobalt-chromium alloy. **J. prosth. Dent.**, St. Louis, v.61, n.5, p-568-571, May, 1989.
25. HARCOURT, H.J. The effects of variation in cooling rates and heat treatment on cobalt-chromium alloys. **Br. dent. J.**, London, v.116, n.2, p.475-483, June, 1964.
26. _____. Fractures of cobalt chromium castings. **Br. dent. J.**, London, v.110, n.17, p.43-50, Jan. 1961.
27. _____. An investigation into oxy-acetylene melting of chrome-cobalt alloys and its effect on surface texture and homogeneity in castings. **Br. dent. J.**, London, v.118, n.16, p.139-146, Feb. 1960.
28. _____, COTTERILL, W.F. Induction melting of cobalt-chromium alloys. a comparison with flame melting. **Br. dent. J.**, London, v.118, n.20, p.323-329, Apr. 1965.
29. HAWBOLT, E.B., MacENTEE, M.I. Effects of fatigue on a soldered base metal alloy. **J. dent. Res.**, Chicago, v.62, n.12, p.1226-1228, Dec. 1983.

30. HAWBOLT, E.B., MacENTEE, M.I., ZAHEL, J.I. The tensile strength and appearance of solder joints in three base metal alloys made with high and low temperature solders. **J. prosth. Dent.**, St. Louis, v.44, n.3, p.291-293, Sept. 1983.
31. HENRIQUES, G.E.P. et al. Sodering and remelting influence on fatigue strength of cobalt-chromium alloys. **J. prosth. Dent.**, St. Louis, v.78, n.2, p.146-152, Aug., 1997.
32. LANE, J. R. A survey of dental alloys. **J. Am. dent. Ass.**, Chicago, v.39, n.4, p.414-437, Oct., 1949.
33. LAUTENSCHLAGER, E.P. et al. Strength mechanisms of dental solder joints. **J. dent. Res.**, Chicago, v.53, n.6, p.1361-1367, Nov./Dec., 1974.
34. LEWIS, A.J. Failure of removable partial denture castings during service. **J. prosth. Dent.**, St. Louis, v.39, n.2, p.147-149, Fev., 1978.
35. MORRIS, H.F. et al. The influence of heat treatments on several types of base-metal removable partial denture alloys. **J. prosth. Dent.**, St. Louis, v.41, n.4, p.388-395, Apr., 1979.
36. _____, et al. Stress distribution within circumferencial clasp arms. **J. oral Rehabil.**, Oxford, v.3, n.4, p.387-394, Oct., 1976.
37. MUENCH, A. Propriedades mecânicas decorrentes da soldagem de ligas odontológicas com baixo conteúdo de ouro. **Revta Fac. Odont. S Paulo**, São Paulo, v.9, n.1, p.81-89, jan./jun., 1971.
38. VAN NOORT, R.V., LAMB, D.J. A scanning electron microscope study of Co-Cr partial dentures fractured in service. **J. Dent.**, Bristol, v.12, n.2, p.122-126, June, 1984.
39. PAFFENBARGER, G.C., CAUL, H.J., DICKSON, G. Base metal alloys for oral restorations. **J. Am. dent. Ass.**, Chicago, v.30, n.11, p.852-862, June 1943.
40. PLANGE, C.H., ERDLE, R.W. **US Patent**, 1.909.008 (1933). **US Patent**, 1.958.446 (1934).

41. RASMUSSEN, E.J., GOODKIND, R.J., GERBERICH, W.W. An investigation of tensile strength of dental solder joints. **J. prosth. Dent.**, St. Louis, v.41, n.4, p.418-423, Apr., 1979.
42. SMITH, E.A. Vitallium as a substitute for dental gold castings alloys. **Br. dent. J.**, London, v.85, n.7, p.180-181, Oct., 1948.
43. SOUZA, S.A. Ensaio de fadiga. In: _____. **Ensaio mecânicos de materiais metálicos**. 4.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1974 cap.8, p.130-156.
44. STRANDMAN, E. The influence of carbon content on the mechanical properties in a cast dental Co-Cr alloy. **Odont. Revy**, Malmö, v.27, n.4, p.273-286, Oct./Dez., 1976.
45. _____. The influence of different types of acetylene-oxygen flames on the carbon content of a dental Co-Cr alloy. **Odont. Revy**, Malmö, v.27, n.3, p.223-238, July/Sept., 1976.
46. _____, GLANTZ, P.O. On the characteristics of acetylene-oxygen flames used in dental castings. **Odont. Revy**, Malmö, v.27, n.3, p.197-222, July/Sept., 1976.
47. TEHINI, G.E., STEIN, R.S. Comparative analysis of two techniques for soldered connectors. **J. prosth. Dent.**, St. Louis, v.69, n.1, p.16-19, Jan., 1993.
48. TOWNSEND, L.W.A., VERMILYEA, S.G., GRISWOLD, W.H. Soldering nonnoble alloys. **J. prosth. Dent.**, St. Louis, v.50, n.1, p.51-53, July, 1983.

12 – APÊNDICE

12 – APÊNDICE

12.1 – RESULTADOS ORIGINAIS

Tabela 4 – Valores médios de resistência à fadiga para os três diferentes tipos de preparo para soldagem e controle (sem solda) das ligas metálicas Dentorium e Degussa em números de ciclos.

Número da Amostra	Sem solda (controle)		Topo a topo		Ponta de lápis		Chanfro de 30°	
	Dentorium	Degussa	Dentorium	Degussa	Dentorium	Degussa	Dentorium	Degussa
01	7912	2483	6970	1949	4957	8666	5910	1219
02	11780	10951	4144	1117	3960	6008	5630	8635
03	6713	4212	860	2846	3144	2001	6749	6548
04	14868	9858	4980	4472	1269	1160	5630	1641
05	5678	5467	2428	1505	8542	1261	6200	8378
06	8134	9629	4044	1541	5250	3403	5803	7928
07	6058	9473	2268	1565	5483	3319	7185	6980
08	12822	8132	4380	2255	7844	699	6938	6754
09	10120	6324	1209	3608	7832	5040	2857	7500
10	6970	5528	4750	2873	8337	3100	6488	7104